



*Federação das Indústrias do Estado da Bahia*

CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC

Engenharia Elétrica

## Projeto Theoprax de Conclusão de Curso

### Desenvolvimento do robô de inspeção.

Apresentada por:                   Luciana  
   Felipe

Orientador:                           Prof. Marco Reis, M.Eng.

Setembro de 2018

Luciana  
Felipe

## **Desenvolvimento do robô de inspeção.**

Projeto Theoprax de Conclusão de Curso apresentada ao , Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário SENAI CIMATEC, como requisito parcial para a obtenção do título de **Bacharel em Engenharia.**

Área de conhecimento: Interdisciplinar  
Orientador: Prof. Marco Reis, M.Eng.

Salvador  
Centro Universitário SENAI CIMATEC  
2016

Dedico este trabalho a ...

---

## Agradecimentos

---

Salvador, Brasil  
dia de Setembro de 2018

Luciana  
Felipe

---

## **Resumo**

---

Escreva aqui o resumo da dissertação, incluindo os contextos geral e específico, dentro dos quais a pesquisa foi realizada, o objetivo da pesquisa, assunção filosófica, os métodos de pesquisa usados e as possíveis contribuições que o que é proposto pode trazer à sociedade.

**Palavras-chave:** Palavra-chave 1, Palavra-chave 2, Palavra-chave 3, Palavra-chave 4, Palavra-chave 5

---

## **Abstract**

---

Escreva aqui, em inglês, o resumo da dissertação, incluindo os contextos geral e específico, dentro dos quais a pesquisa foi realizada, o objetivo da pesquisa, assunção filosófica, os métodos de pesquisa usados e as possíveis contribuições que o que é proposto pode trazer à sociedade.

**Keywords:** Keyword 1, Keyword 2, Keyword 3, Keyword 4, Keyword 5

---

# Sumário

---

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Objetivos . . . . .	3
1.1.1	Objetivos Específicos . . . . .	3
1.2	Justificativa . . . . .	4
1.3	Requisitos do cliente . . . . .	6
1.4	Organização do Projeto Theoprax de Conclusão de Curso . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Conceito do Sistema</b>	<b>8</b>
2.1	Estudo do estado da arte . . . . .	8
2.2	Descrição do sistema . . . . .	19
2.2.1	Especificação técnica . . . . .	24
2.2.2	Arquitetura geral do sistema . . . . .	25
2.2.3	Arquitetura de software . . . . .	25
2.2.3.1	Driver Layer . . . . .	26
2.2.3.2	Business Layer . . . . .	27
2.2.3.3	User Interface Layer . . . . .	27
2.3	Desdobramento da função qualidade . . . . .	28
2.3.1	Requisitos técnicos . . . . .	28
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>29</b>
3.1	Estrutura analítica do protótipo . . . . .	29
3.2	Lista de componentes . . . . .	29
3.3	Diagramas mecânicos . . . . .	30
3.3.1	Diagrama mecânico do ELIR . . . . .	30
3.3.2	Suporte dos sensores . . . . .	30
3.4	Modelo esquemático de alimentação e comunicação . . . . .	32
3.4.1	Diagramas elétricos . . . . .	33
3.4.2	Esquemas eletrônicos . . . . .	33
3.5	Especificação das funcionalidades . . . . .	33
3.5.1	Fluxo das informações . . . . .	35
3.5.2	Aquisição . . . . .	35
3.5.2.1	Objetivo . . . . .	35
3.5.2.2	Dependências . . . . .	35
3.5.2.3	Premissas . . . . .	35
3.5.2.4	Descrição da Funcionalidade . . . . .	36
3.5.2.5	Saídas . . . . .	37
3.5.3	Localização . . . . .	38
3.5.3.1	Objetivo . . . . .	38
3.5.3.2	Dependências . . . . .	38
3.5.3.3	Premissas . . . . .	38
3.5.3.4	Descrição da Funcionalidade . . . . .	38
3.5.3.5	Saídas . . . . .	39
3.5.4	Detecção . . . . .	39
3.5.4.1	Objetivo . . . . .	39
3.5.4.2	Dependências . . . . .	39

3.5.4.3	Premissas . . . . .	39
3.5.4.4	Descrição da Funcionalidade . . . . .	39
3.5.4.5	Saídas . . . . .	40
3.6	Interface do Usuário . . . . .	41
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>42</b>
4.1	Testes unitários . . . . .	42
4.1.1	Câmera Térmica . . . . .	42
4.1.2	Sonar EZ-1 . . . . .	43
4.1.3	Sensor de Proximidade . . . . .	44
4.1.4	<i>Smart Charger</i> . . . . .	45
4.1.5	Sensor de Temperatura . . . . .	46
4.1.6	GPS . . . . .	46
4.1.7	IMU . . . . .	47
4.2	Integração no ROS . . . . .	48
4.2.1	Phidgets . . . . .	48
4.2.2	Smart Charger . . . . .	48
4.2.3	Câmera Térmica . . . . .	49
4.2.4	GPS . . . . .	50
4.2.5	IMU . . . . .	50
4.3	Testes integrados . . . . .	51
4.4	Avaliação da prontidão tecnológica . . . . .	51
4.5	Trabalhos futuros . . . . .	51
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>52</b>
5.1	Considerações finais . . . . .	52
<b>A</b>	<b>QFD</b>	<b>53</b>
<b>B</b>	<b>Diagramas mecânicos</b>	<b>54</b>
<b>C</b>	<b>Diagramas eletro-eletrônicos</b>	<b>69</b>
<b>D</b>	<b>Wireframes</b>	<b>70</b>
<b>E</b>	<b>Logbook</b>	<b>71</b>
	<b>Referências</b>	<b>72</b>

---

## **Lista de Tabelas**

---

- 2.1 Parâmetros de DH do ELIR , para a verificação do deslocamento das rodanças das unidades de tração . . . . . 22

---

## Lista de Figuras

---

1.1	Inspeção de linhas de transmissão feita por aeronaves tripuladas . . . . .	2
1.2	Interação humana durante a inspeção de linhas de transmissão. . . . .	2
1.3	Realização de inspeção em linhas de transmissão através da observação humana. . . . .	3
2.1	Protótipo do robô desenvolvido por Ventrella et. al. . . . .	9
2.2	Teste em campo realizado com o robô para instalação e remoção de esferas de sinalização aérea. . . . .	10
2.3	Configuração do robô de inspeção. . . . .	10
2.4	Robô LineScout. . . . .	11
2.5	Robô híbrido e seus componentes. . . . .	11
2.6	Robô Expliner. . . . .	12
2.7	VANTs utilizados como plataforma de testes. . . . .	12
2.8	Sistema de monitoramento aéreo para linhas de transmissão de energia. . . . .	13
2.9	Teste do robô de inspeção. . . . .	13
2.10	Modelo 3D do robô bípede para inspeção de linhas de transmissão. . . . .	14
2.11	Demonstração da sequência de movimentos do Cable Crawler ultrapassando uma torre. . . . .	14
2.12	Configuração geral do robô suspenso por fio com pernas iguais. . . . .	15
2.13	Equipamento para inspeção de luvas de emendas de linhas de transmissão. . . . .	15
2.14	Robô Ti em teste. . . . .	16
2.15	Robô modular. . . . .	17
2.16	Esboço inicial do PIRO. . . . .	17
2.17	Movimento da lagarta Caterpillar. . . . .	18
2.18	Configuração básica da segunda versão do robô PIRO. . . . .	18
2.19	Protótipo do robô ELIR. . . . .	20
2.20	Vista frontal e lateral do robô ELIR. . . . .	21
2.21	Esquema do ELIR com os sistemas de coordenadas das suas articulações, para a verificação do deslocamento das roldanas das unidades de tração. . . . .	21
2.22	Configuração de juntas, ângulos e links para validação da matriz homogênea obtida na análise cinemática. . . . .	22
2.23	Modelo esquemático do robô ELIR. . . . .	24
2.24	Arquitetura do robô ELIR. . . . .	26
2.25	Arquitetura Geral da Perception . . . . .	27
3.1	Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR . . . . .	30
3.2	Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos . . . . .	31
3.3	Prateleira para suporte com sensores . . . . .	31
3.4	Prateleira para suporte dos componentes de alimentação . . . . .	32
3.5	Fluxo de informações do sistema. . . . .	34
3.6	Fluxograma da Funcionalidade Aquisição . . . . .	36
3.7	Nível de criticidade dos sensores . . . . .	37
3.8	Fluxograma da Funcionalidade Localização . . . . .	38
3.9	Fluxograma da Funcionalidade Detecção . . . . .	40

4.1	Lepton LWIR . . . . .	42
4.2	Mensagem do frame da câmera . . . . .	43
4.3	Esquemático do <i>Frame</i> da Câmera Térmica . . . . .	43
4.4	Sonar EZ-1 . . . . .	44
4.5	Sensor de proximidade E18-D80NK . . . . .	45
4.6	Protocolo de comunicação do <i>Smart Charger</i> e das baterias . . . . .	45
4.7	Sensor de Temperatura LM35 . . . . .	46
4.8	GPS Pixhawk v2.3.1 . . . . .	47
4.9	IMU Xsens Mt-1 . . . . .	47
4.10	Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias . . . . .	49
4.11	Esquemático do processamento da imagem . . . . .	50

---

## **Lista de Siglas**

---

THEOPRAX  
WWW ..... World Wide Web

## Lista de Simbolos

## Introdução

---

No Brasil, a eletricidade é gerada por hidrelétricas, termoelétricas, parques eólicos e usinas nucleares. Na maioria dos casos, devido a condições geográficas e de segurança, a energia gerada nem sempre é utilizada ou consumida no local de sua geração. Portanto, há a necessidade do uso de linhas de transmissão para transportar energia gerada na fonte geradora para a carga do consumidor ([RANGEL; KIENITZ; BRANDÃO, 2009](#)). O mercado consumidor brasileiro é composto de cerca de 47 milhões de unidades. Em termos de linhas de transmissão de energia, são cerca de 98.648,3 km, que devem estar operando 24 horas por dia, 7 dias por semana, 365 dias por ano e em perfeito estado de manutenção, para garantir eletricidade para os consumidores ([ONS, 2018](#))

No Brasil, há uma quantidade considerável de linhas de transmissão de alta tensão que já ultrapassaram a vida útil as quais foram destinadas. Com o envelhecimento dos cabos, a inspeção para manutenção preventiva é um fator de extrema relevância para garantir o perfeito funcionamento dos sistemas elétricos. De um modo geral, as inspeções nas linhas de transmissão de alta tensão são realizadas regularmente de forma visual, a fim de identificar a necessidade da realização de manutenções preventivas. As inspeções buscam verificar a integridade física dos componentes das linhas, em termos de fissuras, corrosão e eventuais danos que venham a prejudicar o fornecimento de energia elétrica. Essas inspeções envolvem a análise da integridade estrutural das torres, da condição dos isoladores, das conexões das linhas de transmissão, dentre outros, a fim de se verificar a existência de eventuais pontos de ruptura.

Um dos métodos empregados para detecção de pontos quentes nos cabos é o imageamento térmico, que é capaz de identificar uma elevação de temperatura nos cabos, o que é um indício de possíveis pontos de ruptura. A inspeção através de câmera térmica é uma importante ferramenta no campo das inspeções para manutenções preventivas. Outros pontos a serem inspecionados envolvem as condições do local onde as torres são instaladas, pois a vegetação e eventuais construções devem ser mantidas a uma distância mínima segura, tal que não ocorra nenhum contato entre quaisquer estruturas e as torres ou cabos de transmissão, evitando assim interferências no funcionamento da linha.

Além disso, é essencial a garantia de dispor-se de um terreno em condições de trânsito de veículos para o transporte do pessoal de manutenção, transporte de ferramentas, dentre outros fatores. Durante vários anos, a inspeção de linhas de transmissão de alta tensão tem sido feita regularmente através de aeronaves tripuladas. As aeronaves executam vôos

em baixa altitude e muito próximos das linhas de transmissão conforme mostrado nas Figuras 1.1 e 1.2.



Figura 1.1: Inspeção de linhas de transmissão feita por aeronaves tripuladas.



Figura 1.2: Interação humana durante a inspeção de linhas de transmissão.

Em alguns casos, devido às características geográficas da região, condições climáticas e outros fatores que venham a dificultar o sobrevôo, há uma grande exposição dos tripulantes a riscos associados à tarefa. Além dos perigos aos quais os tripulantes são expostos, a inspeção feita com aeronaves tem um custo bastante elevado. Outra forma alternativa de inspeção é o uso de veículos terrestres, porém essa forma é muito limitada, pois boa parte das linhas de transmissão está localizada em áreas de difícil acesso terrestre, muitas vezes restritas pelas características geográficas da região. Além disso, o ângulo de visão é, muitas vezes, desfavorável para a realização da inspeção.

Outra maneira de inspecionar as linhas de transmissão é através de eletricistas que literalmente caminham sobre os cabos de linhas de transmissão de alta tensão (Figura 1.3),



Figura 1.3: Realização de inspeção em linhas de transmissão através da observação humana.

realizando inspeção visual e termográfica. Esse tipo de inspeção é lenta e não é viável, tendo em vista que o país possui milhares de quilômetros de linhas de transmissão.

Neste contexto vários robôs de inspeção de linhas de transmissão foram desenvolvidos, porém poucos deles consistiram em projetos de engenharia que sejam aplicáveis no mundo real, além disso a maioria eram robôs tele-operados, ou seja robôs controlados por seres humanos. Um dos pontos diferenciais deste projeto conclusão de curso é a proposição de um desenvolvimento de uma navegação autônoma utilizando técnicas de aprendizagem de máquinas até então não utilizadas em robôs de inspeção de linhas de transmissão de alta tensão.

## 1.1 *Objetivos*

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver o sistema de percepção para um robô de inspeção de linhas de transmissão ELIR (Electrical Line Inspection Robot).

### 1.1.1 *Objetivos Específicos*

- Detectar pontos quentes nas linhas de transmissão;
- Desenvolver o sistema georeferenciamento do robô;
- Elaborar o sistema de segurança do robô (Análise de temperatura, consumo e Capacidade da Bateria);

- Construir interface de comunicação com o usuário para apresentar as informações de segurança do robô, informação dos atuadores e todas as ocorrências da missão.

## 1.2 *Justificativa*

A inspeção de linhas de transmissão de alta tensão é uma tarefa difícil e altamente perigosa, atualmente esta inspeção é realizada através do auxílio de helicópteros os quais percorrem trajetórias próximas às linhas de transmissão e utilizam de câmeras termográficas as quais medem a temperatura nos cabos a partir da associação da quantidade de radiação emitida em determinada faixa de comprimento de onda com uma determinada temperatura. Porém os gastos com este tipo de inspeção são extremamente elevados, como consequência, as empresas responsáveis pela transmissão de energia não monitoram continuamente as condições dos cabos, e realizam inspeções nas linhas de transmissão em intervalos grandes. Outro modo de inspecionar as linhas de transmissão é através de eletricistas que literalmente andam sobre os cabos das linhas de transmissão de alta voltagem fazendo uma inspeção visual e podendo levar algum equipamento para medição de temperatura ao longo da linha, porém este tipo de inspeção é lenta e é inviável verificar milhares de quilômetros de linhas de transmissão utilizando este método. Ambos os modos de inspeção de linhas de transmissão são arriscados, trazem perigos para as pessoas que estão a bordo do helicóptero; já que, este tem de voar próximo às linhas de transmissão e trazem perigos para o eletricista que irá andar sobre os cabos inspecionando-os visualmente ou com auxílio de algum equipamento, além de desconhecer-se completamente o efeito dos campos eletromagnéticos intensos desta região sobre a saúde destes eletricistas. Como consequência, realizar a inspeção de linhas de transmissão através da utilização de robôs móveis é algo que vem ganhando destaque no século XXI. Isto somente foi possível por causa dos avanços tecnológicos como sistema de localização global, os sistemas de transmissão de informação sem fio, a construção de micro-controladores mais baratos, rápidos e com maior capacidade de processamento, além dos grandes avanços que a computação e a microeletrônica têm obtido. Com isso as tarefas que seres humanos executam em ambientes insalubres, perigosos ou inóspitos poderão ser substituídas por uma mão-de-obra automatizada. Além disso, a aplicação da robótica móvel pode ser utilizada para a redução de custos. No caso específico deste trabalho, a utilização de robôs de inspeção para linhas de transmissão atende a ambos os aspectos. Um robô de inspeção de linhas de transmissão deve ser capaz de desviar de obstáculos como grampos de suspensão, grampos terminal passante, emendas a compreensão, emenda total pré-formada, tentos partidos, cabos amassados e dispositivos anti-vibração como amortecedores e festão. Estes obstáculos devem ser transpostos por sequências de movimentos executadas pelo robô. Além disso, idealmente o robô deve apresentar o menor peso, comprimento, altura, ter perfeita aerodinâmica, um formato desprovido de pontas, a maior autonomia possível, baixo custo, além de apresentar uma blindagem eletromagnética que deve impedir que

os intensos campos magnéticos e elétricos, devido às elevadas correntes que passam nas linhas de transmissão, danifiquem os componentes eletrônicos, além disso, deve apresentar um sistema de comunicação wireless que não seja influenciado pelo elevado campo eletromagnético ao redor dos cabos, além de apresentar motores com elevado rendimento mecânico e elétrico, não apresentar derrapagem quando o mecanismo para movimentação das rodas for acionado, dentre outros.

Pagnano et. al ([PAGNANO; HÖPF; TETI, 2013](#)) conclui que uma das principais buscas em futuros projetos devem estar centradas no desenvolvimento de detecção e transposição de obstáculos de forma autônoma, ou seja, não mais atribuir sequências de movimentos para os robôs mas desenvolver algoritmos de controle para que a detecção e ultrapassagem seja realizada de forma autônoma. Outro ponto a se observar é a completa abrangência de autonomia do robô durante sua navegação.

Embora respondam por um número pequeno de ocorrências, se comparadas com as ocorrências em linhas de distribuição, um evento em uma linha de transmissão impacta de maneira desproporcionalmente mais severa, visto que a quantidade de clientes atendidos pelas linhas de transmissão é bem superior ao da linha de distribuição, afinal estas últimas são alimentadas pelas linhas de transmissão.

A manutenção preventiva é o procedimento mais adequado para aumentar a confiabilidade e evitar ocorrências indesejáveis em linhas de transmissão. No entanto, devido ao maior nível de tensão e consequentemente de maior escala das estruturas físicas da linha; efetuar a manutenção preventiva de maneira manual é uma tarefa muito difícil, custosa, por vezes requerendo o desligamento da linha.

O uso de uma ferramenta automatizada para a inspeção destas linhas possibilitará uma redução no número e na freqüência de eventos em linhas de transmissão, aumentando a confiabilidade do sistema elétrico e reduzindo as perdas de energia; contribuindo para a melhoria do processo interno e a qualidade do serviço oferecido ao consumidor final, o que resulta em ganho financeiro para as concessionárias. Além deste benefício, é importante ressaltar que interrupções no fornecimento, mesmo que por curto espaço de tempo, têm como consequência impactos negativos sobre a sociedade e sobre a imagem da concessionária, sujeita à exposição na mídia.

Porém, a prática mostra que a idealização de soluções para os problemas levantados é algo distante da realidade, isto porque, além de ser fisicamente impossível de representar-se de forma exata situações ideais na prática; devido às perdas de energia e às inúmeras variáveis que teriam de ser abordadas para representar um problema de forma exata, mesmo que fosse possível construir um modelo muito próximo a realidade, o custo iria ser um dos fatores que iria inviabilizar a escolha dos melhores materiais e dos melhores dispositivos.

Assim deve-se observar que, em geral, os robôs devem atender as características conforme certos requisitos de projeto, de modo que se aproxime ao máximo da condição ideal, desde que o custo permaneça abaixo de um valor aceitável.

### 1.3 Requisitos do cliente

O desenvolvimento do sistema de percepção para o robô ELIR teve como fundamento os requisitos técnicos proposto pelo cliente do projeto. Os requisitos estão apresentados detalhadamente nos tópicos a seguir.

- **Inspeção de Temperatura dos cabos, estrutura e obstáculos:** Devem ser disponibilizadas as informações de medição de temperatura dos cabos, estrutura da linha e de seus obstáculos. Esses dados devem ser obtidos através da câmera térmica para inspeção
- **Georreferenciamento dos eventos:** Todos os eventos de detecção de pontos quentes, sobretemperatura e sobrecorrente devem ser sinalizados em um *logfile* informando a data, horário e coordenadas geográficas obtidas pelo GPS.
- **Disponibilizar os videos dos eventos:** A inspeção realizada pela câmera térmica deve ser disponibilizada em tempo real na interface gráfica do robô.
- **Identificação de posicionamento da garra no cabo:** A fim de garantir a confiabilidade da operação, deve ser realizado uma verificação do alinhamento das garras no cabo da linha de alta tensão.
- **Inspeção da linha de servidão:** Devem ser disponibilizadas informações de objetivos até sete metros abaixo do robô

### 1.4 Organização do Projeto Theoprax de Conclusão de Curso

Este documento apresenta 5 (cinco) capítulos e está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 1 - Introdução:** Contextualiza o âmbito no qual a pesquisa proposta está inserida. Apresenta, portanto, a definição do problema, objetivos e justificativas da pesquisa e como este projeto theoprax de conclusão de curso está estruturado;
- **Capítulo 2 - Conceito do Sistema:** Descreve como o sistema de Percepção é composto, apresenta a especificação técnica, a arquitetura geral do sistema, a arquitetura de software e os requisitos técnicos;

- **Capítulo 3 - Materiais e Métodos:** Apresenta os materiais utilizados no projeto, explica os suportes mecânicos criados, o diagrama elétrico e o desenho da placa desenvolvida, além das especificações de cada funcionalidade do sistema;
- **Capítulo 4 - Resultados:** Apresenta a descrição dos testes unitários e integrados realizados;
- **Capítulo 5 - Conclusão:** Apresenta as conclusões, contribuições e algumas sugestões de atividades de pesquisa a serem desenvolvidas no futuro.

---

## Conceito do Sistema

---

A percepção é, de acordo com o dicionário [Michaelis \(2004\)](#), a capacidade de distinguir por meio dos sentidos ou da mente.

Segundo [Thorpe et al. \(2003\)](#), este é o ponto fraco mais comuns em robôs pois para garantir sua segurança e confiabilidade é necessário que o mesmo tenha a capacidade de interpretar as variáveis ambientais. A percepção é o que torna os robôs diferentes de simples mecanismos, pois é ela quem dá a habilidade de adequar suas operações de acordo com as influências externas.

A percepção do ELIR pode ser definida como um sistema integrado de sensoriamento e com unidades de processamento, em que seus dados serão utilizados como parâmetros de tomada de decisão e disponibilizados durante a operação de inspeção ao operador.

O sistema foi projetado de forma a possuir três subsistemas principais: segurança, georreferenciamento e detecção. A descrição de cada um dos subsistemas e suas funcionalidades serão mostradas nas próximas sessões.

Para um robô, o ambiente é um mar de ambiguidades, no qual ele vai afundar ou nadar a depender da robustez de sua percepção.

([FITZPATRICK, 2003](#))

### **2.1 Estudo do estado da arte**

Diante dos desafios apresentados nesta tese, faz-se oportuno apresentar os projetos que contribuíram para o desenvolvimento da solução final. De forma muito incipiente os projetos para desenvolvimento de robôs de inspeção em linhas de transmissão, ainda são poucos. Pagnano et. al ([PAGNANO; HÖPF; TETI, 2013](#)) se propos a descrever um roadmap para o desenvolvimento futuro dos robôs de inspeção em linha de transmissão, reforçando o aspecto da autonomia dos robôs e sua confiabilidade na execução das transposições dos obstáculos.

Como apontado anteriormente através do capítulo inicial desta tese, objetiva-se o desenvolvimento de robôs de inspeção no qual utiliza as linhas de transmissão para realizar sua

movimentação, neste sentido pode-se observar um dos primeiros trabalhos no desenvolvimento destes robôs apresentado por Ventrella et.al ([VENTRELLA et al., 2003](#)). Este robô foi desenvolvido para deslocar-se ao longo do cabo de transmissão tendo controle de parada, avanço e retorno via rádio, ou seja tele-operado. O sistema pode gerar imagens do cabo onde são enviadas também via rádio, com isso o operador pode também realizar a transposição dos obstáculos. A Figura 2.1 apresenta o protótipo do robô, mostrando o seu sistema de locomoção.

Figura 2.1: Protótipo do robô desenvolvido por Ventrella et. al.



O conceito de um robô móvel para instalação e remoção autônoma de esferas de sinalização aéreas em linhas de transmissão de energia (Firugar [2.2](#)) é apresentado por Campos et al. ([CAMPOS et al., 2002](#)). Segundo os autores, um computador de bordo é responsável pelo controle através dos dados obtidos pelos sensores e dos comandos enviados por um operador de solo. Os comandos do operador são transmitidos por ondas de rádio, o que permite que o sistema seja remotamente operado a uma distância de até 2 km. O equipamento foi testado em campo em uma situação real e mostrou-se eficiente e robusto. De acordo com Gonçalves e Carvalho ([GONÇALVES; CARVALHO, 2013](#)), apesar do mecanismo proposto por Campos et al. ([CAMPOS et al., 2002](#)) não superar obstáculos nem navegar em linhas entre duas torres, é simples e funcional.

Apoiado pelo financiamento do Plano Nacional Chinês 863, Zhou et al. ([ZHOU et al., 2005](#)) propuseram um robô (Figura 2.3) capaz de ultrapassar qualquer tipo de obstáculo (até torres) ao trafegar ao longo de uma linha de transmissão de até 110 kV. O robô conta com uma câmera; as imagens de inspeção, por sua vez, são enviadas para uma estação de trabalho do solo através de um sistema de comunicação sem fio.

De acordo com a Figura 2.3; a estrutura mecânica do robô desenvolvido por Zhou et al. ([ZHOU et al., 2005](#)) é composta por cinco grandes partes: mecanismo de movimentação (vehicle driving mechanism); sistema de parada (brake system assembly); braços flexíveis (flexible arms); garras (palm gripper); fonte de alimentação e sistema de controle (power supply and controller). Para assegurar a flexibilidade requerida o robô (que pesa cerca

Figura 2.2: Teste em campo realizado com o robô para instalação e remoção de esferas de sinalização aérea.

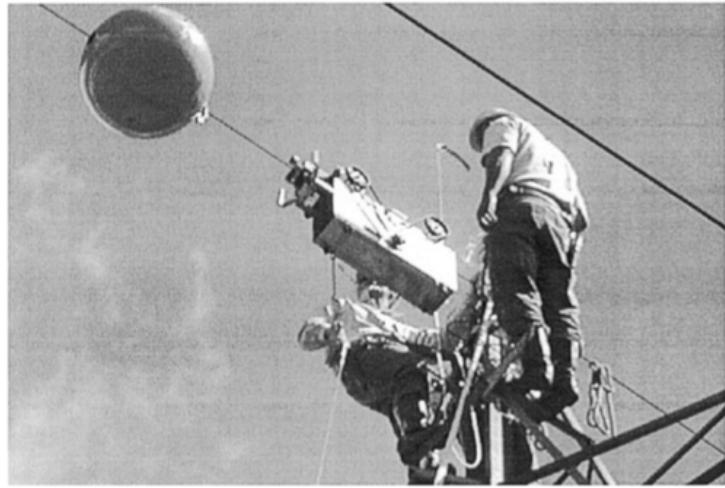
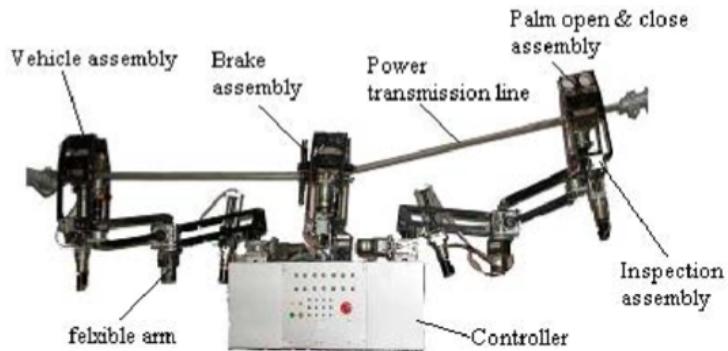


Figura 2.3: Configuração do robô de inspeção.

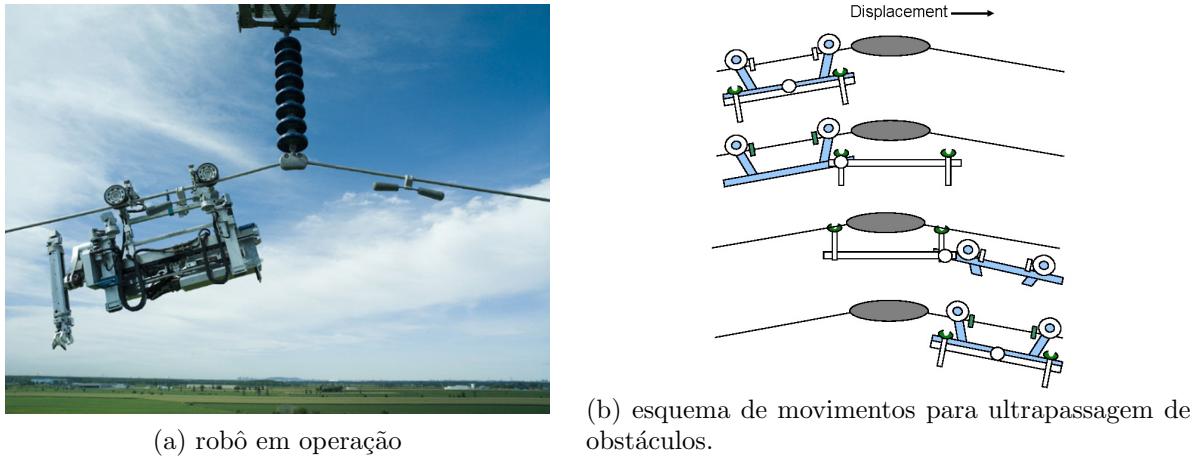


de 45 kg e tem 1,2 m de comprimento) tem 16 eixos de movimentação, podendo vencer inclinações de até 60°.

Como parte do programa de pesquisa Hydro-Québec Montambault e Pouliot ([MONTAMBault; POULIOT, 2007](#)) encarregaram-se do desenvolvimento de uma tecnologia para inspeção e manutenção de linhas de transmissão de 735 kV, denominada LineScout (Figura 2.4). Segundo por Montambault e Pouliot ([MONTAMBault; POULIOT, 2007](#)), o protótipo deste robô móvel tele operado (pesando 100 kg) foi testado e validado em muitas configurações de linhas e de sequências de obstáculos, sob condições de campo.

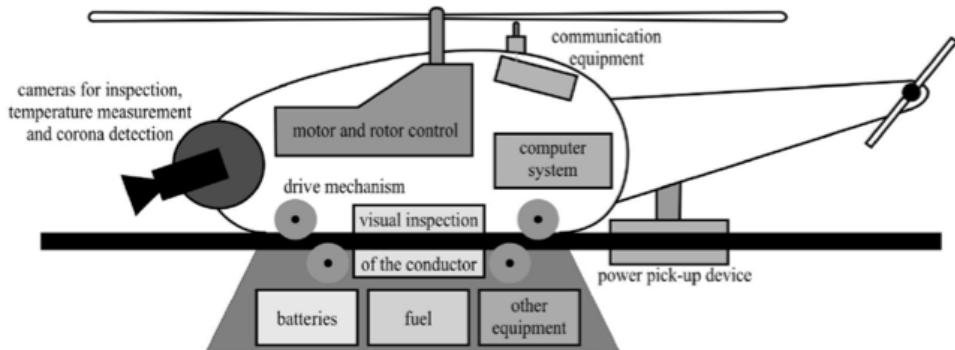
O LineScout, como mostrado na Figura 2.4, utiliza o cabo condutor como suporte; o uso de rodas para movimentação não só possibilita a locomoção rápida e eficiente ao longo da linha, como também permite passar por cima de alguns obstáculos. Para ultrapassar outros tipos de obstáculos é empregada a sequência de movimentos esquematizados na Figura 2.4b. Em 2008 Katrasnik, Pernus e Likar ([KATRASNIK; PERNUS; LIKAR, 2010](#)) propuseram um conceito híbrido para inspeção de linhas de transmissão; o qual combina o uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT) e um robô móvel (Figura 2.5). Em seus

Figura 2.4: Robô LineScout.



estudos conceituais os autores compararam os três tipos de sistemas para inspeção: os robôs móveis, os por veículos aéreos e os híbridos; concluindo que, apesar da baixa qualidade de inspeção e autonomia, o sistema proposto tem como vantagem a universalidade e a facilidade de projeto. Katrasnik, Pernus e Likar ([KATRASNIK; PERNUS; LIKAR, 2010](#)) acreditam ainda que a solução híbrida provavelmente não terá a autonomia de superação de obstáculos possíveis aos robôs móveis tendo, porém, um provável custo menor de desenvolvimento.

Figura 2.5: Robô híbrido e seus componentes.



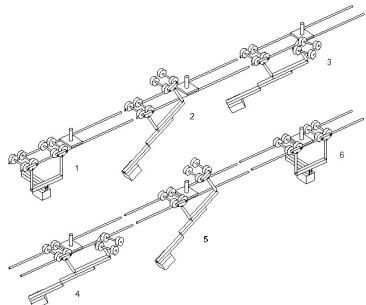
Os primeiros estágios de desenvolvimento do Expliner (Figura 2.6a) são apresentados no artigo de Debenest et al. ([DEBENEST et al., 2008](#)). Este robô tele operado foi projetado para realização de manutenção preventiva de linhas de transmissão de alta-voltagem e conta com dois pontos de apoio e um contrapeso. A movimentação do contrapeso permite que haja o controle da posição do centro de massa e o consequente levantamento em um dos pontos de suporte; este mecanismo possibilita a ultrapassagem de obstáculo (a exemplo do mostrado na Figura 2.6b ).

De acordo com Debenest et al. ([DEBENEST et al., 2008](#)), o Expliner pode ser semi-controlado através de um sistema de comunicação sem fio, ou seja, o usuário está sempre

Figura 2.6: Robô Expliner.



(a) robô e sua submontagens.



(b) esquema de movimentos para ultrapassagem de obstáculos.

encarregado da sua operação não precisando, porém, controlar todos os detalhes, mas sim autorizar a realização de tarefas pré-programada; as sequências de movimento ficam gravadas na sua memória. Por pesar 84 kg, um cabo de acesso deve ser usado para colocar o robô na linha de transmissão. De acordo com os autores, os testes realizados mostram que o Expliner pode mover-se até m/min e superar inclinações de até 30 graus.

Já a proposta de Rangel, Kienitz e Brandão ([RANGEL; KIENITZ; BRANDÃO, 2009](#)) é o desenvolvimento de uma plataforma de monitoramento aéreo a ser utilizado para inspecionar linhas de alta voltagem. Para tal, a integridade da linha é verificada com o auxílio de um VANT (Figura 2.8), onde é instaladas câmeras de vídeo, equipamentos de controle e de telemetria. O VANT é pilotado remotamente por um operador que se encontra na estação de solo (Figura 2.8). As imagens capturadas e os dados georreferenciados da linha e do terreno são enviados, em tempo real, ao solo para posterior armazenamento e processamento.

Figura 2.7: VANTS utilizados como plataforma de testes.



Durante a pesquisa da inspeção utilizando VANTS, foi constatado que estes não substituem com plenitude as aeronaves tripuladas nesta tarefa, uma vez que existem limitações quanto à proximidade dos veículos com a linha de transmissão para que não haja interferência eletromagnética no sistema. Os autores citam ainda, que esta proposta presta-se, fundamentalmente, a identificação e diagnóstico do problema, não sendo possível a realização de manutenção corretiva (como ocorre quando há a inspeção por helicóptero tripulado). Li e Ruan ([LI; RUAN, 2010](#)) em seu trabalho descrevem o desenvolvimento

Figura 2.8: Sistema de monitoramento aéreo para linhas de transmissão de energia.



de um robô móvel para inspeção de linhas de transmissão de 500 kV capaz de superar alguns obstáculos como contrapesos, torre de ancoragem, e torres de torção (Figura 2.9). O robô projetado conta com treze motores e tem sua mobilização, inspirada no comportamento dos macacos. Estruturado em um mecanismo formado por engrenagens sem-fim, rodas, garras, parafusos e porcas ele tem capacidade para escalar linhas com no máximo 60 graus. O protótipo deste robô, (com 30 kg e tem 1,2 m de comprimento e 0,8 m de altura) ainda está em fase de desenvolvimento e carece de uma maior robustez para a efetiva realização de algumas inspeções necessárias para uma boa manutenção preventiva das linhas de transmissão.

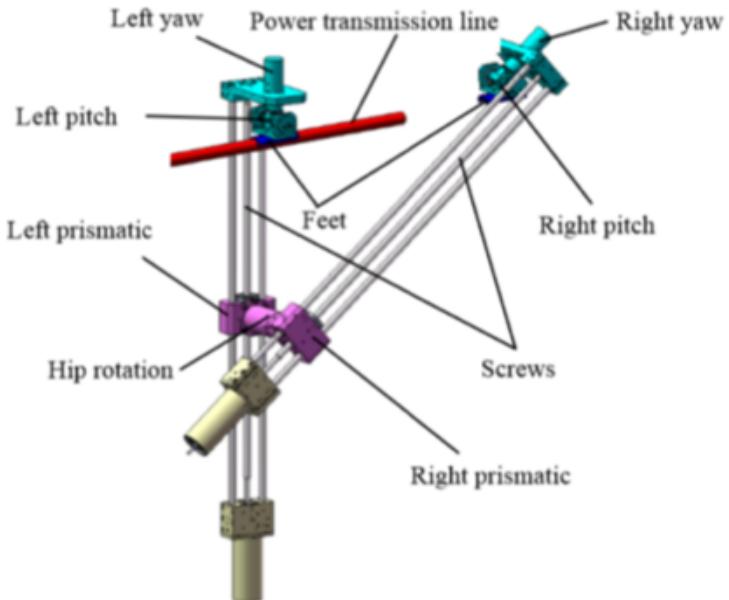
Figura 2.9: Teste do robô de inspeção.



O robô proposto por Wang et al. ([WANG et al., 2010](#)) apresentam um mecanismo diferenciado para a realização da inspeção de linhas de transmissão. Como pode ser observado

na Figura 2.10, este robô móvel conta com uma estrutura bípede e os seus dois pés podem ser presos à linha de transmissão; os seus ciclos de movimento sob a linha são compostos por fases onde há um único apoio e outras fases onde há dois apoios. Cada perna tem uma junta prismática que permite que o seu tamanho seja ajustado fazendo com que o seu centróide sempre coincida com o eixo da articulação central (hip joint), reduzindo o consumo de energia e mantendo a sua estabilidade na quando o robô está mono apoiado.

Figura 2.10: Modelo 3D do robô bípedo para inspeção de linhas de transmissão.



O protótipo do robô apresentado por Wang et al. ([WANG et al., 2010](#)) possui 800 mm de altura e 100 mm de largura, quando todas as juntas estão na posição zero; o maior obstáculo que pode transpor tem 300 mm de comprimento. Os autores concluem que os próximos trabalhos a serem realizados com este protótipo devem focar na inclusão de sensor de detecção de linha, controle on-board e testes em ambientes reais de linha de transmissão e obstáculos. O “Cable Crawler” é tratado por Buehringer et. al ([BÜHRINGER et al., 2010](#)), um robô tele operado para inspeção de linha de transmissão de alta voltagem que trafega ao longo do cabo terra. Este robô, que pesa 53 kg, conta com um mecanismo que permite com que ele transponha desde pequenos obstáculos até as torres (como mostrado na Figura 18).

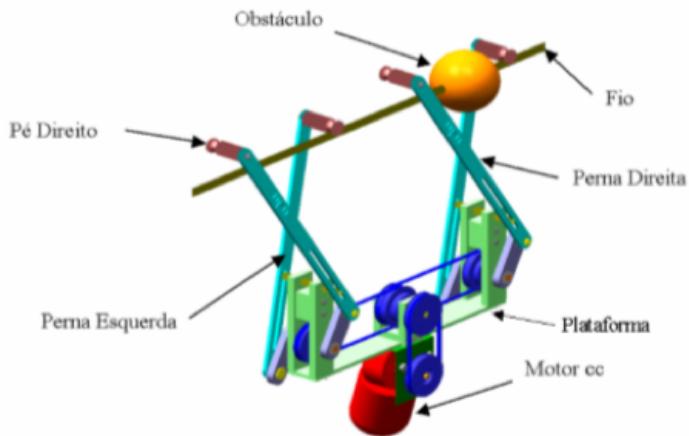
Figura 2.11: Demonstração da sequência de movimentos do Cable Crawler ultrapassando uma torre.



Gonçalves e Carvalho em seus trabalhos ([GONCALVES; CARVALHO, 2010](#)) ([GONÇALVES; CARVALHO, 2013](#)) apresentam os resultados dos estudos desenvolvidos a cerca de um

robô móvel suspenso por fio projetado para manutenção e inspeção de linhas de energia e/ou telecomunicação. Segundo Gonçalves (GONÇALVES; CARVALHO; CARVALHO, 2006) este robô, de fácil controle, tem a capacidade de transpor alguns obstáculos, como por exemplo grampos e esferas de sinalização, independentemente de sua posição; uma vez que é dotado de quatro pernas de comprimentos variáveis.

Figura 2.12: Configuração geral do robô suspenso por fio com pernas iguais.



A Figura 2.12 ilustra a configuração geral do robô proposto por Gonçalves e Carvalho (GONÇALVES; CARVALHO; CARVALHO, 2006) (GONCALVES; CARVALHO, 2010). Um dos princípios do seu desenvolvimento é a facilidade de controle, para tal, a movimentação das quatro pernas é sincronizada por um conjunto de polias e correias acionado por um único motor. O Instituto Coreano de Pesquisa em Energia Elétrica propõe, através do trabalho de Lee, Jung e Cho (LEE; JUNG; CHO, 2011), um robô para inspeção de luvas de emenda de linhas de transmissão pela medição do campo magnético. O seu programa de interface com o usuário (remoto) mostra a condição da ferramenta, permitindo com que o operador comande os movimentos do robô; além de calcular e apresentar o grau de excentricidade da luva.

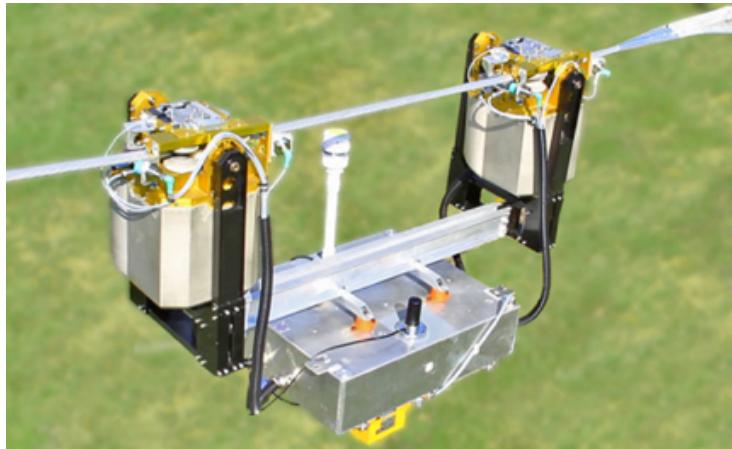
Figura 2.13: Equipamento para inspeção de luvas de emendas de linhas de transmissão.



Como pode ser visto na Figura 2.13, a estrutura do robô para inspeção de luvas de emendas é formada de duas partes: uma responsável pelo movimento e outra pela inspeção. De acordo com Gonçalves e Carvalho (GONÇALVES; CARVALHO, 2013), seu deslocamento assemelha-se a uma lagarta, onde há aderência e locomoção ao longo do cabo através de um sistema de sulcos e ranhuras que permite que o robô supere elevações e depressões sem cair.

Phillips et al. (PHILLIPS et al., 2012) apresentaram em seu trabalho o robô que autonomamente inspeciona linhas de transmissão de alta voltagem desenvolvido pelo Electric Power Research Institute (EPRI); denominado Ti. No campo, este robô é instalado permanentemente à linha de transmissão e é capaz de transpor os obstáculos através de sistemas de by-pass, também permanentes. O Ti dispõe de câmeras de alta definição, câmaras espectro de infravermelho, detectores de interferência eletromagnética e diversos sensores de radiofrequência; os autores acreditam que, desta maneira, o sistema será capaz de fornecer informações completas, precisas e úteis para otimizar a manutenção de linha e melhorar a confiabilidade da transmissão.

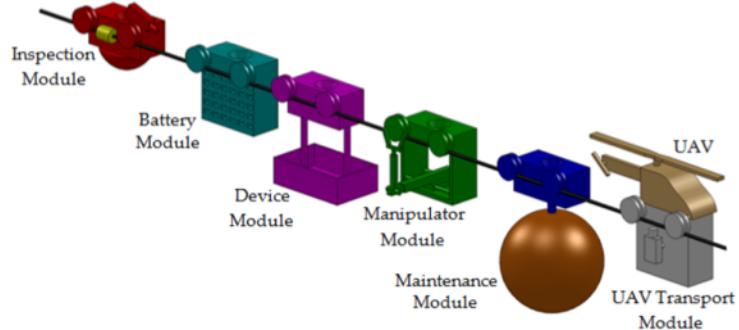
Figura 2.14: Robô Ti em teste.



Baseado na proposta de Katrasnik, Pernus e Likar (KATRASNIK; PERNUS; LIKAR, 2010), Gonçalves e Carvalho (GONÇALVES; CARVALHO, 2013) expõem seus estudos a cerca da ideia de um robô modular (Figura 2.15). Nesta solução cada módulo possuirá sua própria movimentação, função e sistema de energia, podendo transitar ao longo do cabo de alta voltagem ou do de terra. O primeiro módulo carregará um UAV, veículo que será responsável pelo carregamento de todos os módulos no momento da ultrapassagem de obstáculos, podendo ser tele operado. Existirá ainda, o módulo incumbido da troca de baterias dos demais.

Gonçalves e Carvalho (GONÇALVES; CARVALHO, 2013) acreditam que, uma vez que cada módulo possuirá uma finalidade específica, haverá a otimização do seu peso total (dependendo da atividade) reduzindo o consumo de energia. Os autores afirmam, ainda, diante da individualidade dos módulos, que o robô poderá ser projetado para diversas

Figura 2.15: Robô modular.



tarefas (inspeção, manutenção, instalação, limpeza, captura de imagens, etc.) sem necessariamente ser pesado e grande (como seria um robô monobloco multitarefa).

Destacaremos no presente trabalho o robô autônomo apresentado por Lima II et al. ([II et al.,](#)) e Mourão et al. ([MOURÃO MIGUEL A. M., 2015](#)) denominado PIRO (Powerlines Inspection Robot) ou D311, fruto da parceria entre CEMIG, SENAI-CIMATEC/BIR (Brazilian Institute of Robotics) e Universidade Federal de Minas Gerais (no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL).

Figura 2.16: Esboço inicial do PIRO.



De acordo com os autores, o projeto do PIRO tem como objetivo ser uma proposta inovadora diante dos resultados encontrados anteriormente por outros pesquisadores; sendo autônomo para a realização de inspeção visual e térmica de cabos de transmissão de linhas energizadas e transposição automatizada de obstáculos. Para tanto se considerou como pré-requisitos que o robô deve:

- Trabalhar em uma faixa de tensão entre 124,2 kV e 151,8 kV com corrente trifásica de 500 A.
- Ser autônomo, dependendo de operadores apenas para sua instalação e remoção no trecho a ser inspecionado ou por eventuais paradas emergenciais.
- Operar em um cabo condutor LINNET, com diâmetro de 18,3 mm.

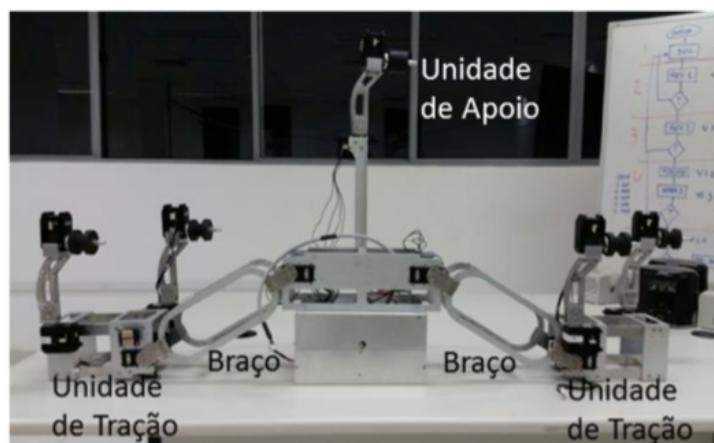
- Ter massa menor ou igual a 14 kg, permitindo a instalação em campo com a utilização de hastes por apenas dois operadores.
- Ser provido de blindagem elétrica e magnética de forma a assegurar seu funcionamento na linha de transmissão, ou seja, que não haja danos nos seus componentes devido aos campos eletromagnéticos intensos.
- Ser capaz de transportar sensores e equipamentos para inspeção visual e térmica, diagnosticando possíveis falhas no sistema que podem interferir no fornecimento de energia elétrica.

Lima II et al. (II et al., ) e Mourão et al. (MOURÃO MIGUEL A. M., 2015) afirmam que o mecanismo do D311 para superação de obstáculo foi inspirado no movimento na lagarta Caterpillar (Figura 2.17). De acordo com a Figura 2.18, optou-se, ainda, por uma estrutura mecânica modular composta por: Braços, os quais unem a unidade de tração e de apoio. O módulo de tração, responsável pela força motora. Unidade de apoio, a qual atua como ponto de referência do equipamento e funciona como mais um ponto de suporte durante a rotina de ultrapassagem de obstáculos.

Figura 2.17: Movimento da lagarta Caterpillar.



Figura 2.18: Configuração básica da segunda versão do robô PIRO.



O PIRO conta com uma estrutura simétrica, que o permite deslocar em ambos os sentidos sem que haja a necessidade de desacoplamento do robô; além de quatro articulações,

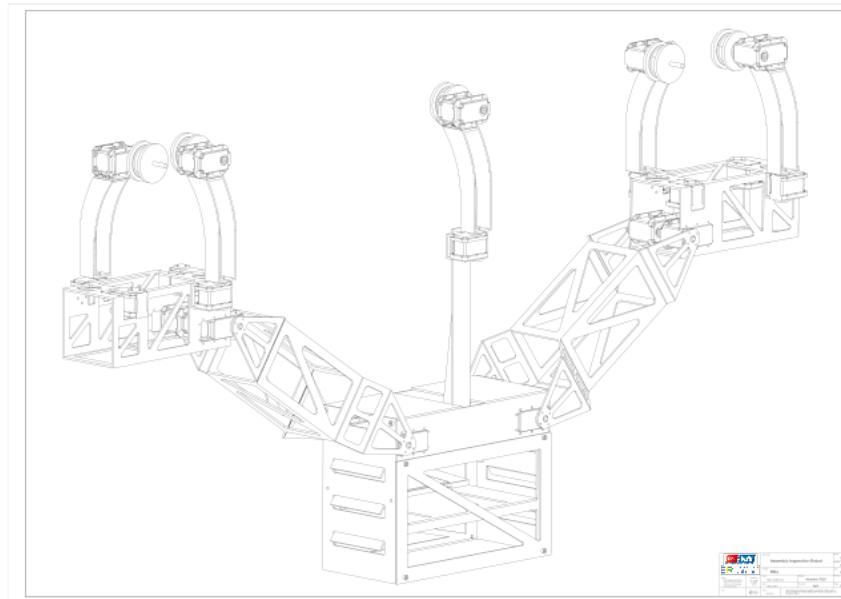
que provém o número de GDLs necessários seu funcionamento adequado. Sua estrutura é fabricada através de perfis metalon de liga alumínio 2024-T6, o que garantiu redução de tempo de produção, custo e, principalmente, peso. Os autores acreditam que, uma vez que o braço do PIRO tem apenas 153 g e toda a estrutura mecânica tem 1,8 kg; alcançou-se uma inovação ímpar ao estado-da-arte, a massa total da estrutura final do robô é 8,92 kg. Segundo Mourão et al. ([MOURÃO MIGUEL A. M., 2015](#)), durante os testes realizados em laboratório foi constatado: que a morfologia do robô permite que a transposição de obstáculo; que o sistema de acionamento responde de forma precisa aos comandos de deslocamento, velocidade e aceleração além da rapidez e eficácia do sistema de sensoriamento e visualização. Já os testes executado em linha viva de 138 kV, para verificação quanto à susceptibilidade às interferências eletromagnéticas, sendo que os resultados mostram-se satisfatórios. O artigo Lima II et al. ([II et al.,](#) ) traz, ainda, um estudo comparativo entre o D311 e outros robôs para inspeção de linhas de alta tensão. Em relação ao LineScout, apresentado por Montambault e Pouliot ([MONTAMBAULT; POULIOT, 2007](#)), o PIRO tem a vantagem de ser autônomo (e não tele operado), ou seja, não depende da habilidade do operador; além de ter massa sete vezes menor, permitindo o seu acoplamento manual. A utilização dos VANTs, por sua vez, apesar da sua maior velocidade de inspeção, em comparação com o D311 apresenta as desvantagens da necessidade de extensa área para pouso e decolagem, menor exatidão na localização dos defeitos, grande influência de perturbações externas e taxas de amostragem insuficientes para elevadas velocidades de varredura.

## **2.2 Descrição do sistema**

As concessionárias de energia elétrica e diversas instituições de pesquisa, nos últimos anos vêm trabalhando na busca de uma solução para a inspeção de linhas de transmissão de alta tensão. A abrangência de suas pesquisas perfazem em grande parte no desenvolvimento de robôs para realizar a inspeção. Esta tese tomou como base o sistema mecânico desenvolvido no projeto do primeiro robô de inspeção de linha de transmissão brasileiro de baixo peso, apresentado no VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica ([MOURÃO MIGUEL A. M., 2015](#)). A escolha no uso desta solução mecânica originou-se dos resultados alcançados por este projeto diante dos desafios de uma inspeção de linhas de transmissão. Denominado projeto D311 e sob o código Aneel PD-4950-0311/2011, teve como objetivo desenvolver um robô autônomo para executar a inspeção visual e térmica de linhas de transmissão de alta tensão (138kV), realizando automaticamente a transposição de obstáculos presentes na linha de transmissão. Apesar de alcançar os objetivos inicialmente traçados, o sistema de navegação do robô não era autônomo, seu deslocamento e transposição era baseado em reconhecimentos de padrões e todos os algoritmos pré-estabelecidos eram acionados quando do reconhecimento do padrão.

Diante da ideia estabelecida, esta tese promoveu algumas modificações nas estruturas mecânicas para simplificar as modelagens necessárias para a simulação, logo em termos estruturais e dimensionais a estrutura mecânica proposta apresenta modificações consideráveis em relação ao robô do Projeto D311. Para dar suporte a compreensão deste modelo proposto, os desenhos mecânicos desenvolvidos são apresentados no Apêndice ???. Uma das principais diferenças entre a proposta do robô desta tese e do PIRO apresentado por [Mourão Miguel A. M. \(2015\)](#), está no fato deste realizar a detecção e classificação de objetos de forma autônoma, além de desempenhar autonomamente as funções de translação e transposição. Outro ponto a ser considerado é a sua flexibilidade em transportar obstáculos, o robô em questão terá uma capacidade de desempenho maior do que o apresentado por ([MOURÃO MIGUEL A. M., 2015](#)); quanto a sua montagem, o robô apresenta simplicidades na fabricação das peças além de possibilidade um número maior de graus de liberdade necessárias para os movimentos. A proposta para o robô é apresentada na figura 2.19.

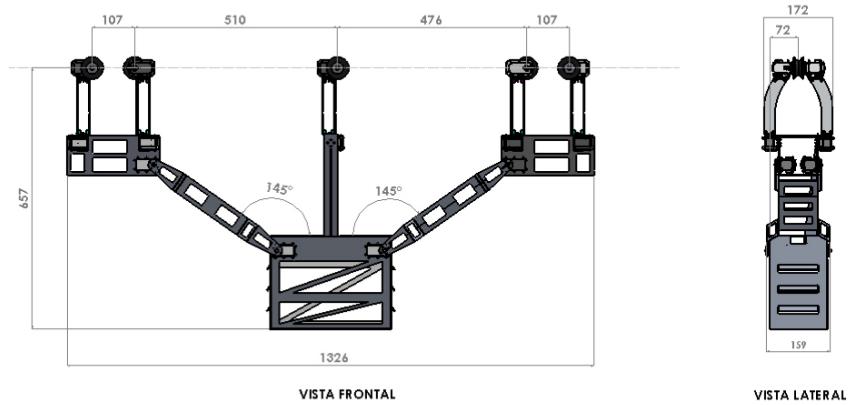
Figura 2.19: Protótipo do robô ELIR.



Este protótipo será referenciado como robô ELIR, o qual recebe este nome devido a sua representação de Robô de Inspeção Elétrica em inglês, ou seja Electrical Inspection Robot. O ELIR é composto por duas unidades de tração, dois "braços", e uma unidade central. A unidade de tração é composta por um par de garras, com um servomotor e uma roda em cada uma, além disso a estrutura principal da unidade é composta por mais dois servomotores com o objetivo de deslocar as garras da unidade. Os braços são compostos por uma estrutura metálica em alumínio, na extremidade de cada um deles há uma junta de movimentação composta por dois servomotores. A unidade central é onde o processamento do robô se encontra, a unidade também agrupa o subsistema de potência do robô.

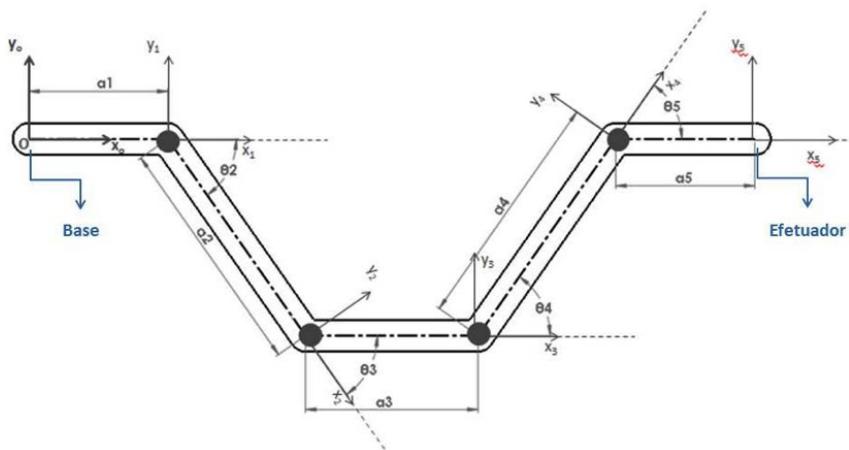
A proposta do sistema mecânico aqui apresentada foi estudada e simulada por [Sartori \(2018\)](#), que diante do dimensional sugerido pela Figura 2.20 realizou uma análise geométrica do referido sistema robótico ELIR, chegando a conclusão de que não havia interferência mecânica entre a estrutura do robô e os obstáculos durante o processo de movimentação ou de transposição.

Figura 2.20: Vista frontal e lateral do robô ELIR.



De forma resumida, os dimensionais do sistema robótico é apresentado na Figura 2.20 e tomando como referência a Figura 2.21 juntamente com seus parâmetros e matrizes de transformação, chega-se a conclusão que há uma simetria na geometria do robô ELIR, bastando dessa forma permutar entre a base e o efetuador, ou seja as matrizes da cinemática direta são válidas para as duas extremidades.

Figura 2.21: Esquema do ELIR com os sistemas de coordenadas das suas articulações, para a verificação do deslocamento das roldanas das unidades de tração.



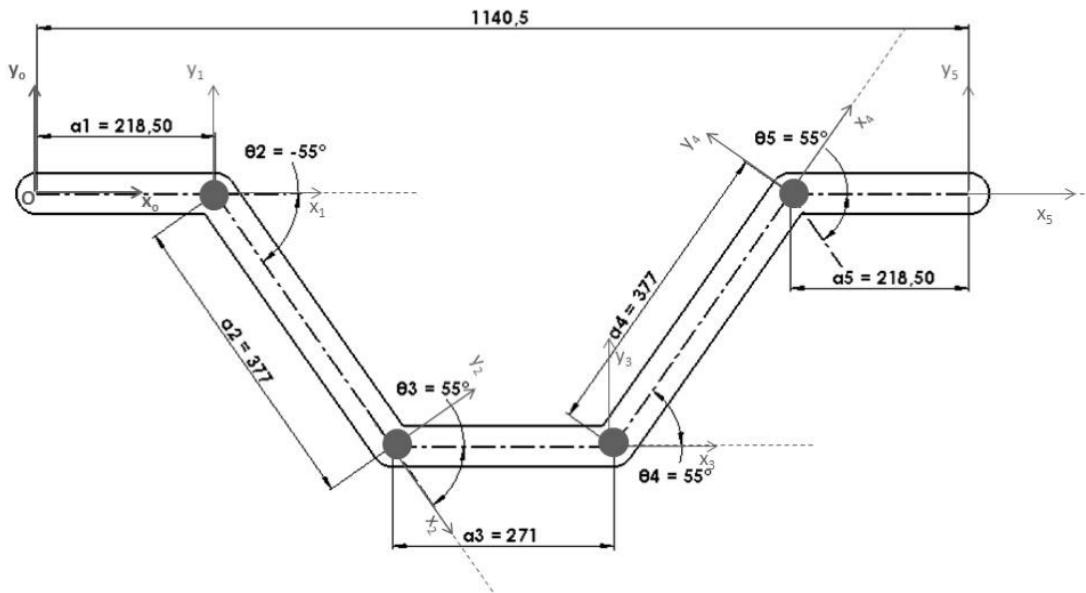
Consequentemente, tomando o sistema e dividindo-o em cinco partes, as matrizes homogêneas do robô são estabelecidas, levando em consideração os parâmetros de Denavit-Hartenberg apresentado na Tabela 2.1 para o robô ELIR, no qual chega-se aos valores dimensionais dos ângulos de cada junta (Figura 2.22) obtidos na análise cinemática.

A matriz homogênea de cada parte é dada pela Equação 2.1.

Tabela 2.1: Parâmetros de DH do ELIR , para a verificação do deslocamento das roldanas das unidades de tração

Junta	$a_i$	$d_i$	$\alpha_i$	$\theta_i$
1	$a_1$	0	0	$\theta_1$
2	$a_2$	0	0	$\theta_2$
3	$a_3$	0	0	$\theta_3$
4	$a_4$	0	0	$\theta_4$
5	$a_5$	0	0	$\theta_5$

Figura 2.22: Configuração de juntas, ângulos e links para validação da matriz homogênea obtida na análise cinemática.



$$A_{n-1}^n = \begin{pmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n & 0 & a_n \cos \theta_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n & 0 & a_n \sin \theta_n \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

Logo levando-se em consideração que o efetuador do robô esteja numa extremidade, tem-se a matriz transformação homogênea da base definida pela expressão 2.2.

$$A_0^5 = A_0^1 \cdot A_1^2 \cdot A_2^3 \cdot A_3^4 \cdot A_4^5 = \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} & x_0^5 \\ r_{2,1} & r_{2,2} & r_{2,3} & y_0^5 \\ r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} & z_0^5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Os elementos da matriz apresentada pela equação xx, são definidos por Sartori (2018) e serão tomados como parâmetros para esta pesquisa, diante disso chega-se aos dimensio-

nais apresentados na Figura 2.22 com seus respectivos valores de ângulos, logo podemos encontrar o resultado numérico para a Equação 2.3.

$$A_0^5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1140.5 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Com isto, pode-se definir qualquer posição do efetuador no espaço de trabalho considerado, assim como identificar as limitações do robô para os movimentos requeridos. Estas definições serão úteis para a elaboração da simulação pretendida nesta tese.

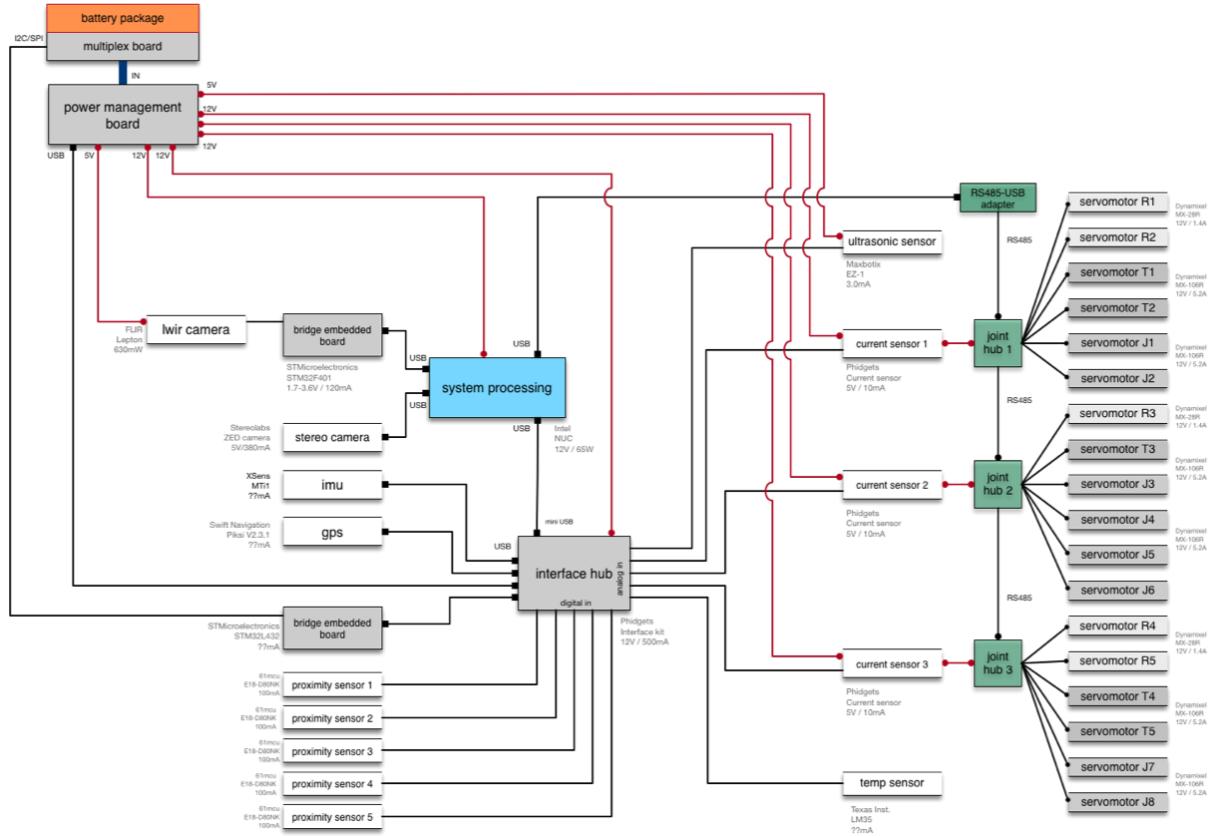
Vale ressaltar que toda estruturação metálica, com seus dimensionais são apresentados ao final da tese na seção Apêndice, mais especificamente no Apêndice B. Um outro ponto importante a se destacar, é que a análise cinemática inversa analisada e simulada por Sartori (2018) não foi considerada para o desenvolvimento desta tese, em substituição a modelagem matemática será adotado o software *MoveIt!* para estabelecer os posicionamentos das juntas para a realização de uma determinada estratégia a qual se queira desenvolver.

Baseado no conceito inicial do robô, deve-se projetar também os esquemas elétrico e eletrônico do sistema robótico. De forma abrangente a Figura 2.23 apresenta o modelo esquemático adotado neste robô.

Como pode-se observar e de forma abrangente, os principais elementos que compõem o robô são:

- 13 servomotores de 8.4Nm
- 05 servomotores de 2.5Nm
- 01 interface de IO
- 01 IMU
- 01 GPS
- 01 câmera stéreo
- 01 câmera LWIR
- 05 sensores de proximidade
- 01 sensor ultrassônico

Figura 2.23: Modelo esquemático do robô ELIR.



- 01 sensor de temperatura
- 03 sensores de corrente
- 01 computador central para processamento das informações
- 01 placa de gerenciamento de energia
- 01 placa de gerenciamento de baterias
- 02 baterias de 12V

A Figura 2.23 é somente uma representação esquemática para o desenvolvimento da tese, no Apêndice ?? é apresentado os diagramas elétricos e eletrônicos para a compreensão total do sistema eletro-eletrônico considerado para este trabalho.

### 2.2.1 Especificação técnica

A construção do sistema de Percepção teve como base os requisitos técnicos do cliente. As especificações podem ser observadas abaixo.

- O sistema foi projetado para trabalhar com alimentação de 14V proveniente de baterias LiPo.
- A máxima temperatura de trabalho na *housing* é de 50 graus Celsius.
- O sistema consegue detectar objetos através do sonar em uma faixa de servidão de 6.45 metros.
- A obtenção de *frames* da câmera IR acontece na taxa de 1 frame a cada dois segundos.
- Em condições de sobretemperatura ou sobrecorrente o sistema alertará o operador.
- O sistema não é protegido contra ingresso de água

### 2.2.2 Arquitetura geral do sistema

Para que o objetivo principal fosse atendido, a arquitetura do sistema foi elaborado compreendendo como um processo constituído de entradas e saídas, conforme representado pela Figura 2.24 . Logo, na arquitetura desenvolvida tem-se uma região sendo considerada como a região onde os sensores são os agentes coletores dos eventos desempenhado pelo robô; concomitantemente as saídas são consideradas como os atuadores que realizam a transposição e a translação do robô, nesta região faz parte também os displays de acesso as informações enviadas pelo robô, assim como a visualização da interface com o robô e o usuário.

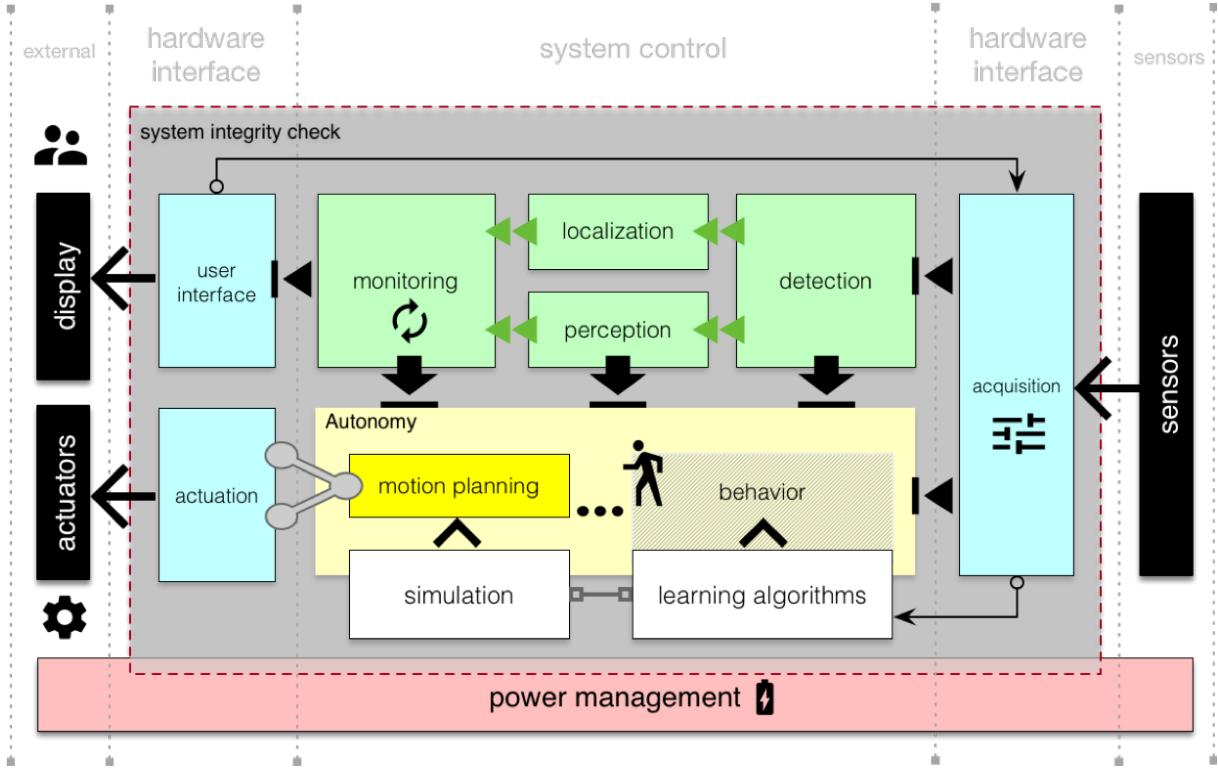
A estrutura da arquitetura apresentada baseia-se no *framework* ROS, o qual possibilita a integração de todas as funcionalidades necessárias para o desenvolvimento do sistema robótico, trabalhando no conceito de nós, o *framework* facilita a identificação de problemas durante a fase de desenvolvimento e também a modularização dos códigos.

### 2.2.3 Arquitetura de software

A arquitetura de software foi projetada em três camadas a fim de facilitar o desenvolvimento do sistema e simplificar o entendimento do mesmo. As camadas de são:

- *User Interface Layer*
- *Business Layer*
- *Driver Layer*

Figura 2.24: Arquitetura do robô ELIR.



As camadas e seus componentes podem ser vistos na Fig.2.25.

### 2.2.3.1 Driver Layer

A camada de *Driver Layer* está diretamente relacionada a funcionalidade de aquisição de dados. Ela composta pelo *hardware*, representado pelos sensores e seus respectivos drivers de comunicação. Desta forma, as subcamadas são nomeadas com o processo de aquisição de dados de cada sensor envolvido no projeto.

As subcamadas *Current Data Acquisition*, *Temperatura Data Acquisition*, *Proximity Data Acquisition* e *Sonar Data Acquisition* são responsáveis por adquirir as informações analógicas de seus sensores e transformá-los em dados da grandeza física a ser medida. Todas estas subcamadas utilizam a placa de interfaceamento Phidgets para o estabelecer de comunicação entre o computador (NUC) e os sensores.

As subcamadas *IMU Data Acquisition* e *GPS Data Acquisition* são responsáveis pelo recebimento de dados da IMU e do GPS seguindo o protocolo de comunicação do fabricante. Esses dois módulos estão conectados ao HUB USB da placa de interfaceamento Phidgets.

A subcamada de *IR Camera Data Acquisition* é responsável pela aquisição de dados da

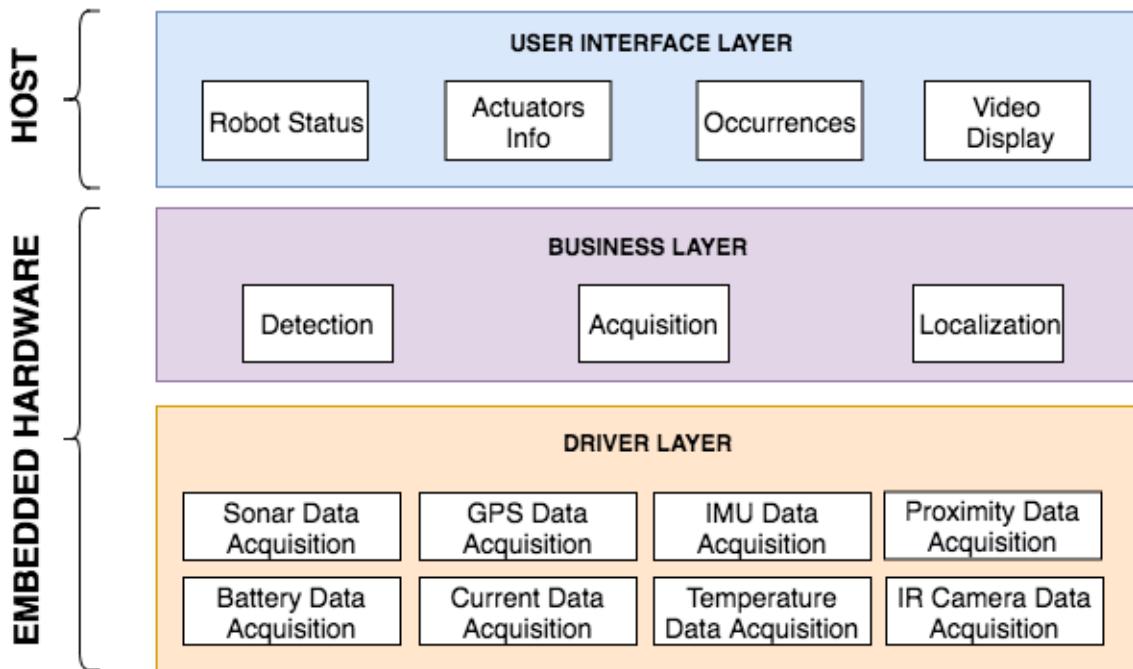


Figura 2.25: Arquitetura Geral da Perception

câmera térmica, a qual se comunica via VOSPI com um microcontrolador de arquitetura ARM (STM32F401RE) e converte os dados para USB para a NUC. Por último, a subcamada de *Battery Data Acquisition* é responsável pelo estabelecimento da comunicação e coleta de informações com o *Smart Charger* de bateria utilizando protocolo SMBUS.

As conexões e diagramas elétricos podem ser vistos no apêndice [C](#).

### 2.2.3.2 Business Layer

A camada *business layer* é responsável por implementar a regra de negócio do sistema. As funcionalidades do sistema são representadas como sub-camadas da business layer, pois são elas responsáveis pelo processamento e coordenação dos dados adquiridos pela camada de aquisição.

### 2.2.3.3 User Interface Layer

A camada de *User Interface* foi projetada para disponibilizar os dados para o operador. Nela será mostrado de forma resumida os dados mais relevantes do robô e da operação. Nesta camada existem três subcamadas: *Robot Status Display*, *Actuators Display* e *Video*

*Display.*

A subcamada *Robot Status Display* disponibiliza os dados de integridade do robô como temperatura, corrente, tensão, nível de bateria, entre outras informações. A subcamada de *Actuators Display* disponibiliza o dados de todos os motores do robô, como carga, temperatura, status e corrente. Por último, a subcamada de *Video Display* mostra em tempo real o monitoramento realizado pela câmera térmica, possibilitando o usuário ver os componentes da linha que estão com temperatura elevada e até mesmo identificar pontos quentes.

A interface irá se resumir em duas telas: A tela principal com um layout de *dashboard*, e outra que terá as informações dos atuadores. O *dashboard* será um painel de monitoramento, no qual haverá as informações mais importantes da missão, como pode ser visto na Fig. ?? no apêndice D. Essa tela irá mostrar as informações de integridade do robô, ocorrências e a imagem térmica. A tela dos atuadores irá mostrar de forma organizada, as informações já mencionadas, além da corrente total de cada HUB de motores. Pode-se observar a tela de atuadores na Fig. ?? no apêndice D.

## 2.3 Desdobramento da função qualidade

asdfsdfsdf

### 2.3.1 Requisitos técnicos

asdfsadfsdf

---

## Materiais e Métodos

---

A metodologia empregada para gerenciamento e execução do projeto ELIR é a mesma empregada na área de Robótica da Instituição. O projeto foi dividido em três fases principais:

- Conceitual e Design
- Development
- Tests

Na etapa de *Conceitual e Design* foram definidos os sensores a serem utilizados no projeto, o modelo esquemático de alimentação e comunicação bem como toda análise de funcionalidades e arquiteturas do robô. Esta é a etapa de criação de conceito tecnológico e o sucesso das demais etapas estão diretamente relacionadas ao sucesso desta.

Na etapa de *Development* as funcionalidades foram implementadas em código e todas as interfaces de alimentação e comunicação foram validadas. Esta fase é marcada pela implementação dos protocolos de comunicação, integração dos sensores com o *framework* de robótica e desenvolvimento da interface gráfica.

Já na etapa *Tests* foram realizados os testes unitários e integrados do sistema de percepção do robô comprovando o seu funcionamento.

### **3.1 Estrutura analítica do protótipo**

asdkjfsdalkjf

### **3.2 Lista de componentes**

No sistema de Percepção os sensores atuam como os sentidos do robô, recebendo dados externos e informando a unidade central de processamento os seus significados. Quanto maior o número de grandezas físicas analisadas, mais complexo o sistema de Percepção e maior a sua capacidade de compreensão.

Os sensores que compõem o sistema de Percepção do robô ELIR foram escolhidos com base nas necessidades de cada funcionalidade do sistema e disponibilidade do componente na própria instituição. A lista de componentes utilizada está mostrada na Figura 3.1.

Item	Description	Manufacturer	Part Number	power/current	connection	unit cost [R\$]	quantity	total cost [R\$]
01	interface board	Phidgets	1019_1B	500mA (max)	USB	R\$ 272,00	1	R\$ 272,00
02	proximity sensor	ETT CO. Ltd	E18-D80NK npn	<25mA	Digital Output	R\$ 29,00	5	R\$ 145,00
03	temperature sensor	Texas Instruments	LM35	10mA	Analog Output	R\$ 7,38	1	R\$ 7,38
04	gps	Swift Navigation	Piksi 2.3.1	5V, 500mW	USB	R\$ 3.398,00	1	R\$ 3.398,00
05	imu	XSENS	Mti-1	44mW	USB	R\$ 1.597,50	1	R\$ 1.597,50
06	ultrasonic sensor	Maxbotix	EZ-1	5V, 2mA	Analog Output	R\$ 107,82	1	R\$ 107,82
08	lwir camera	FLIR	Lepton 1.0	140mW	I2C	R\$ 812,50	1	R\$ 812,50
09	bridge board I	STMicroelectronics	STM32F401 RE	160mA/0.64W	USB	R\$ 49,79	1	R\$ 49,79
10	bridge board II	STMicroelectronics	STM32L432KC	140mA/0.56W	USB	R\$ 39,56	1	R\$ 39,56
11	battery	Inspired Energy	NH2054HD34	89Wh/6,2Ah	SMBus	R\$ 879,98	2	R\$ 1.759,97
12	power management board	SENAI CIMATEC	-	-	USB	R\$ 2.200,00	1	R\$ 2.200,00
13	smart charger for battery	Inspired Energy	EB325A	15mA/0.36W	SMBus	R\$ 1.296,00	1	R\$ 1.296,00
14	central processing	Intel	NUC515RYK	15W/12V	USB	R\$ 4.300,00	1	R\$ 4.300,00
15	cabo usb	-	-	-	USB	R\$ 10,00	2	R\$ 20,00
								Total: R\$ 15.985,52

Figura 3.1: Lista de materiais utilizados no sistema de Percepção do robô ELIR

Fonte: Própria

### 3.3 Diagramas mecânicos

asdfsdf

#### 3.3.1 Diagrama mecânico do ELIR

shaushaus

#### 3.3.2 Suporte dos sensores

Para fixar todos os sensores e componentes eletrônicos de maneira organizada foi desenhada uma estrutura em forma de prateleira na qual é possível anexar a grande parte dos sensores do sistema de Percepção.

A primeira prateleira comporta os sensores do sistema de georreferenciamento que são o GPS e a IMU. A prateleira central foi projetada para a placa de interface Nucleo F401RE que recebe os dados da câmera IR. Por último, na terceira prateleira fica a placa de interface Phidgets para reunir os dados dos diferentes componentes e enviar para a NUC que é a unidade de processamento central do robô.

As peças foram fabricadas utilizando impressão 3D e o seu desenho pode ser visto nas Figura 3.2 e 3.3 .

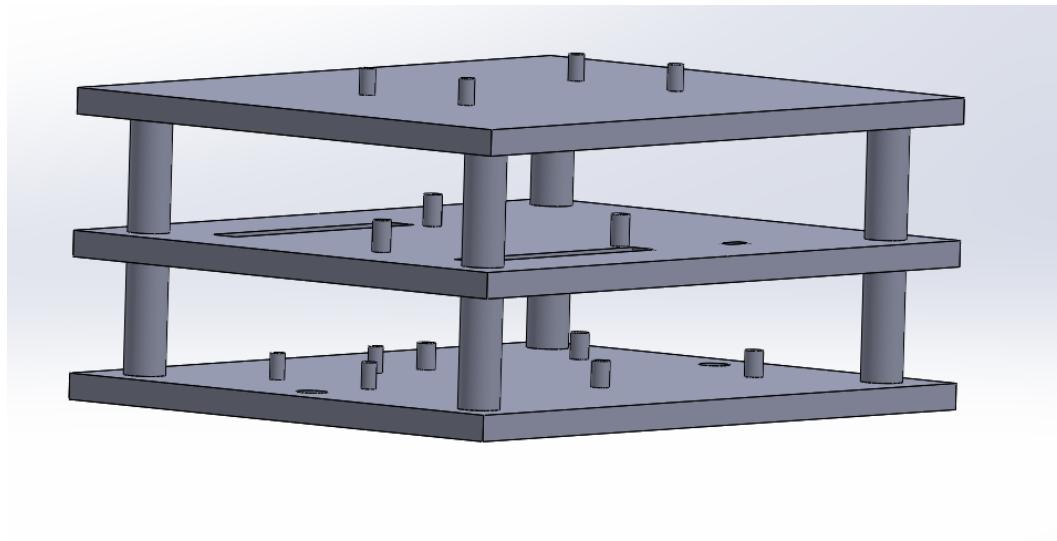


Figura 3.2: Prateleira para suporte dos componentes eletrônicos

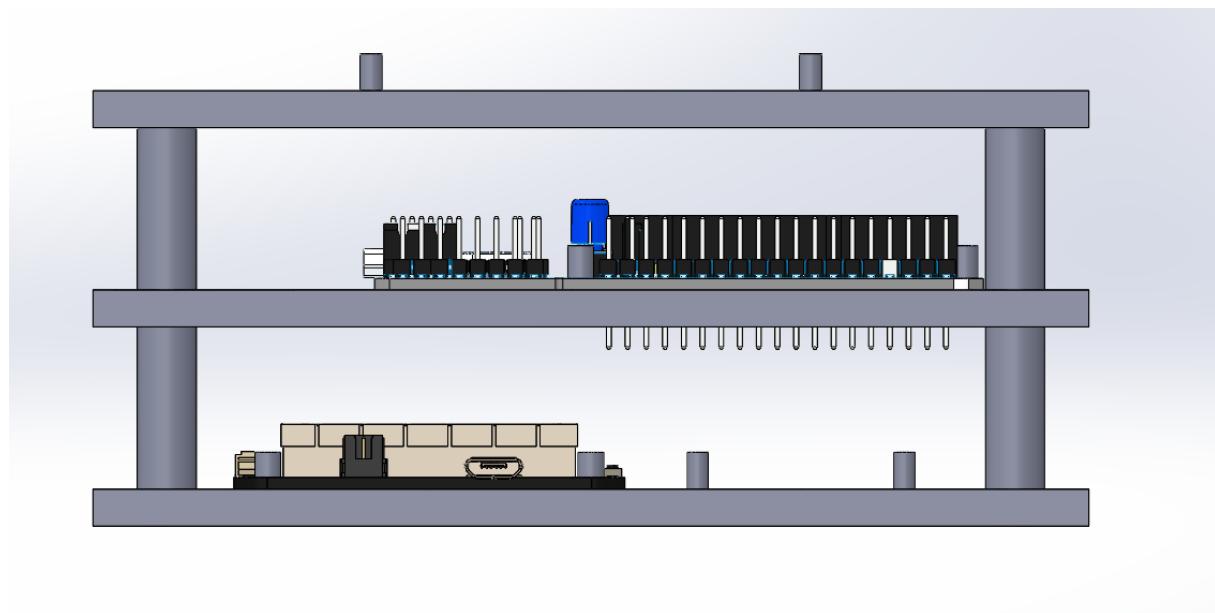


Figura 3.3: Prateleira para suporte com sensores

A parte de gerenciamento enérgico do robô foi alocada em uma estrutura na parte inferior do mesmo. Esta estrutura foi projetada para comportar as baterias, a *Smart Charger*, a *Power Management* e a placa de interface Nucleo L432. O desenho dessa estrutura está mostrado na figura 3.4.

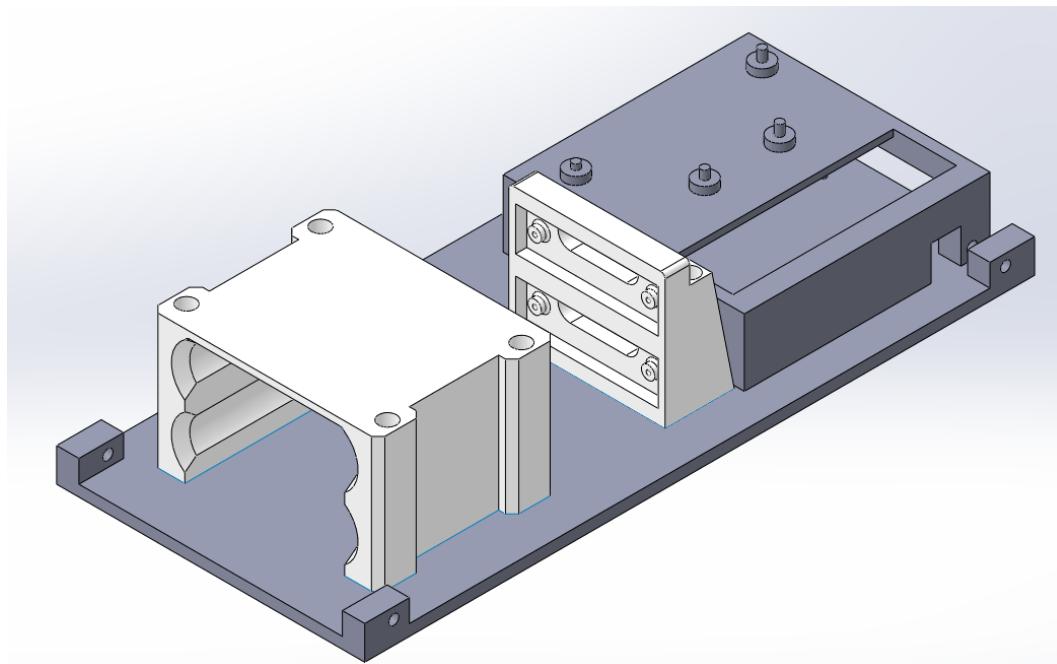


Figura 3.4: Prateleira para suporte dos componentes de alimentação

### 3.4 **Modelo esquemático de alimentação e comunicação**

A alimentação do sistema é proveniente de duas baterias LiPo que fornecem tensão de alimentação em 14V. Todo o gerenciamento de energia do sistema é feita pela Power Management Board, esta placa é responsável por distribuir a alimentação de entrada para os demais subsistemas da Percepção.

A placa de interface Phidgets além de funcionar como *hub* para uma grande parte dos sensores também é responsável por compatibilizar o nível de tensão para os componentes eletrônicos, fornecendo 5V para as placas microprocessadas, sensores e a alimentação de todas as portas USBs.

A comunicação entre os sistemas da Percepção ocorrem na maior parte através da Phidgets, já que esta placa de interface concentra as informações oriundas de suas portas USB, entrada digitais e entradas analógicas em uma única porta USB para a unidade central de processamento.

A câmera térmica e a os dynamixels possuem portas exclusivas de comunicação com a unidade central devido seu grau de criticidade.

O esquemático de alimentação e comunicação entre todos os elementos do sistema de Percepção está disponibilizado no apêndice XX.

### 3.4.1 Diagramas elétricos

O diagrama elétrico do sistema está disponível no apêndice [C](#). Neste diagrama encontram-se todas as conexões elétricas e de comunicação bem como as especificações de conectores e cabos utilizados no projeto.

### 3.4.2 Esquemas eletrônicos

O único esquemático eletrônico realizado pela equipe foi uma placa hub de 5V para alimentação dos sensores de proximidade, visto que a Phidgets possui apenas umas saída de tensão em 5V disponibilizada.

Nesta placa foram colocados os *pin headers* para cada sensor de proximidade, fornecendo alimentação e disponibilizando os pinos digitais dos sensores em um conector Molex.

O esquemático eletrônico e *board* estão mostrados no anexo [C](#).

## 3.5 Especificação das funcionalidades

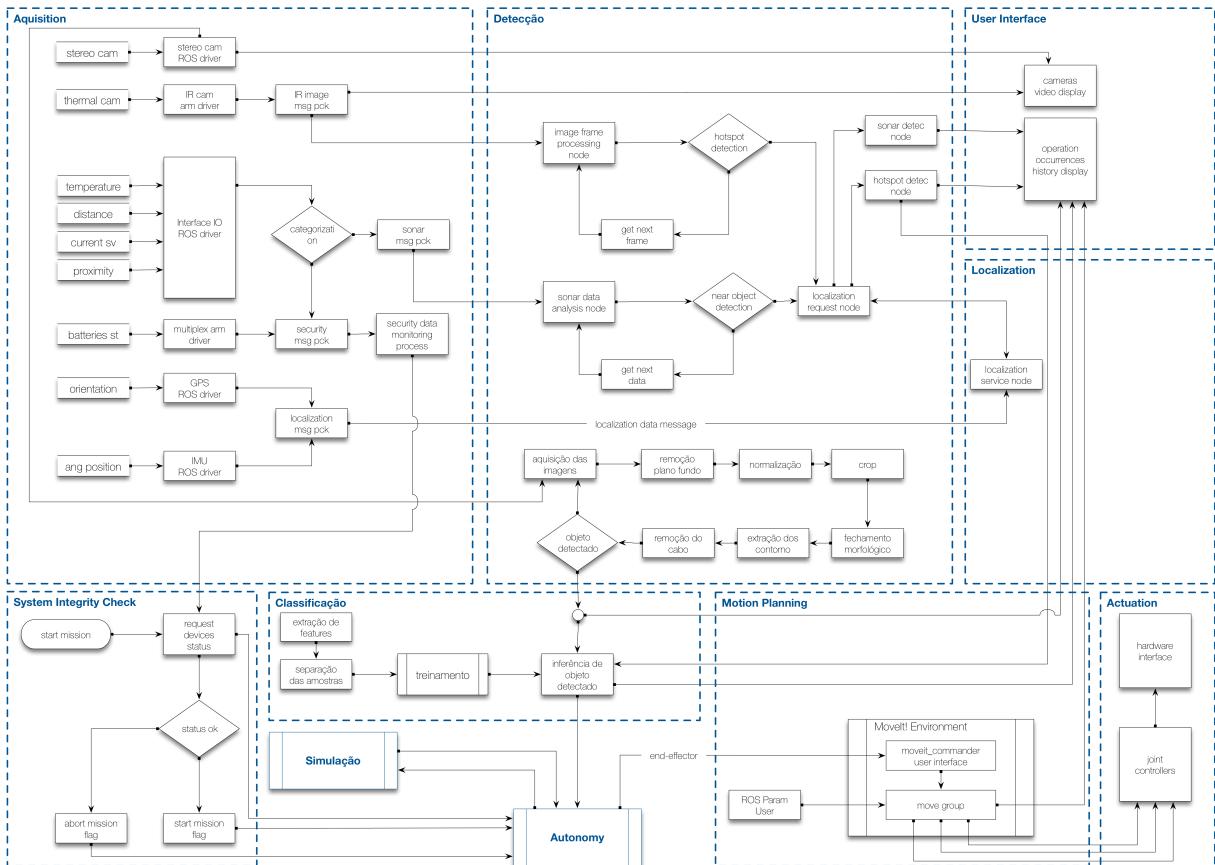
Diante da arquitetura apresentada anteriormente e focando nos objetivos traçados no Capítulo ??, o sistema robótico foi dimensionado para onze funcionalidades distintas:

1. sistema de verificação da integridade
2. gerenciamento de energia
3. aquisição
4. localização
5. planejamento de movimento
6. atuação
7. detecção
8. classificação
9. interface do usuário
10. autonomia

## 11. simulação

A Figura 3.5 apresenta o fluxo de informações entre as funcionalidades. Este fluxo deve ser compreendido para que seja estabelecida as relações entre as funcionalidades e o entendimento entre elas, essa compreensão impactará na melhor elaboração da árvore de falhas do sistema e proporcionará um sistema mais confiável.

Figura 3.5: Fluxo de informações do sistema.



Nas seções seguintes são apresentados em maiores detalhes sobre cada uma das funcionalidades do sistema robótico. Para que fosse melhor compreendido, o desenvolvimento destas funcionalidades foram agrupadas em cinco áreas: movimentação, percepção, interface do usuário, autonomia e simulação. As duas áreas iniciais foram subdivididas em planejamento de movimento, sistema de verificação de integridade, atuação e gerenciamento de energia para a primeira área de nome **movimentação**, que tem como principal objetivo garantir a execução da missão e transposição de obstáculos. Para a segunda área, nominada por percepção, a subdivisão ficou da seguinte forma: aquisição, detecção, classificação e localização, que como o significado do próprio nome apresenta como objetivo principal a percepção do robô diante do ambiente inserido.

### 3.5.1 Fluxo das informações

As funcionalidades de um robô descrevem os subsistemas e a lógica de operação dos mesmos. No ELIR, o sistema de Percepção possui três funcionalidades principais: Aquisição, Localização e Detecção. A descrição de cada funcionalidade e seu diagrama de funcionamento estão mostrados nos subtópicos a seguir.

### 3.5.2 Aquisição

#### 3.5.2.1 Objetivo

Realizar a comunicação e a aquisição dos dados provenientes da câmera térmica, sensores de proximidade, sonar, GPS, IMU, sensor de temperatura, *Smart Charger* e sensores de corrente.

#### 3.5.2.2 Dependências

Esta funcionalidade não é dependente de nenhum outro processo.

#### 3.5.2.3 Premissas

- A interface microcontrolada Nucleo STM32F401RE deve estar com firmware embarcado para conversão de dados SPI para UART.
- A câmera térmica deverá estar conectada à interface Nucleo STM32F401RE
- A câmera stereo deve estar conectada à NUC através da porta USB
- Os sensores de temperatura, corrente e sonar devem estar conectados as entradas analógicas da interface Phidgets
- Os sensores de proximidade devem estar conectados as entradas digitais da placa de interface Phidgets
- O GPS e a IMU devem estar conectados a portas USB da Phidgets
- As placas de interface devem estar energizadas.

### 3.5.2.4 Descrição da Funcionalidade

O processo de aquisição de dados envolve a comunicação dos sensores com seus respectivos drivers no ambiente ROS e a disponibilização dos dados para as outras funcionalidades do sistema.

Os sensores analógicos e digitais terão seus dados tratados pelo driver da interface Phidgets no ambiente ROS.

Para os dispositivos relacionados a localização como o GPS e a IMU, serão utilizado drivers já disponibilizados pelos fabricantes. No caso dos componentes que trabalham com os protocolos de comunicação SPI ou I2C, como é o caso da câmera térmica e da *Smart Charger*, serão utilizadas duas interfaces baseadas em ARM com um *firmware* embarcado para a conversão dos dados para o protocolo UART.

A interface microprocessada utilizada para obter dados da câmera térmica possui uma porta USB dedicada na unidade de processamento Intel NUC. Já a outra interface microprocessada para a *Smart Charger* será conectada a uma porta USB da Phidgets.

No ambiente ROS do projeto há um *package* exclusivo para receber os dados convertidos da câmera térmica, um *package* para receber dados de todos os sensores conectados a Phidgets, um *package* para recebimento de dados da Smart Charger e por último um *package* exclusivo para interface gráfica. Pode-se observar o fluxograma da aquisição na Fig. 3.7

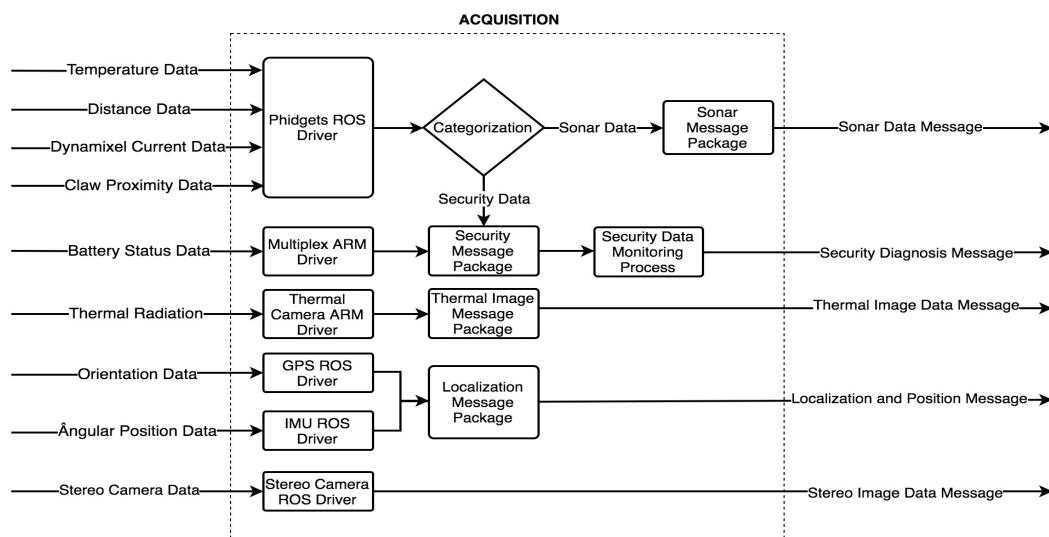


Figura 3.6: Fluxograma da Funcionalidade Aquisição

Para correta execução desta funcionalidade é necessário o funcionamento dos sensores segundo o nível de prioridade dos mesmos. Logo, um estudo de casos de falhas para cada sensor foi realizado, no qual foi definido um nível de criticidade de acordo com o impacto de sua função no sistema como um todo. Foram elaborados três níveis de criticidade:

- Level 1 - Sensores com impacto crítico na operação. Em casos de falha, a inspeção não poderá ser realizada.
- Level 2 - Sensores com impacto médio na operação. Em caso de falha, a inspeção poderá ser realizada de forma parcial.
- Level 3 - Sensores com impacto leve na operação. Em caso de falha, não haverá dados de monitoramento da situação de temperatura e consumo energético do robô, porém a inspeção poderá continuar normalmente.

Na figura abaixo, pode-se observar os sensores e suas categorias.

Grau de Criticidade dos Sensores	
Level 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>FLIR LWIR Thermal Camera</b></li> <li>• <b>Claw proximity sensors</b></li> </ul>
Level 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>EZ-1 Sonar</b></li> <li>• <b>GPS</b></li> <li>• <b>IMU</b></li> </ul>
Level 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Temperature Sensor - LM35</b></li> <li>• <b>Multiplex Board</b></li> <li>• <b>Current Sensors</b></li> </ul>

Figura 3.7: Nível de criticidade dos sensores

### 3.5.2.5 Saídas

Esta funcionalidade possui quatro saídas:

- Sonar Data Message: Mensagem de saída exclusiva para os dados do sonar EZ-1.
- Secutiry Diagnose Message: Mensagem contendo todos os dados relacionados à segurança e integridade do robô.
- Thermal Image Data Message: Mensagem exclusiva para os dados da câmera térmica.
- Localization and Position Message: Mensagem contendo os dados relacionados á localização e posicionamento angular do robô.

### 3.5.3 Localização

#### 3.5.3.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é disponibilizar os dados de Localização do robô no ambiente ROS para a funcionalidade de Detecção.

#### 3.5.3.2 Dependências

O sistema de localização depende dos dados de posicionamento e orientação disponibilizados pelo sistema de Aquisição.

#### 3.5.3.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- GPS e IMU estão posicionados em uma estrutura rígida e com o menor vibração possível.

#### 3.5.3.4 Descrição da Funcionalidade

O sistema de localização envolve o monitoramento da posição latitudinal e longitudinal do robô, assim como a posição angular através do GPS e da IMU respectivamente.

A localização é um package que ao receber uma requisição de informação, coleta os dados de posicionamento e orientação do robô provenientes do sistema de Aquisição e encaminha para o sistema que requisitou.

O fluxograma deste funcionalidade pode ser visto na Figura 3.8

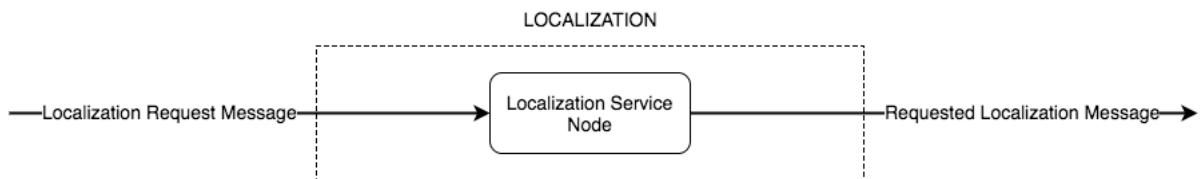


Figura 3.8: Fluxograma da Funcionalidade Localização

### 3.5.3.5 Saídas

- Requested Localization Message: Mensagem que informa os dados de localização para o sistema que os requisitou.

## 3.5.4 Detecção

### 3.5.4.1 Objetivo

O objetivo desta funcionalidade é coletar as informações provenientes da câmera infravermelha e do sonar, como presença de pontos quentes e objetos presentes na área de servidão.

### 3.5.4.2 Dependências

O sistema de detecção depende dos dados do sonar e dos *frames* da câmera térmica disponibilizados pelo sistema de Aquisição. Além disto, depende do sistema de Localização para adquirir informações de posicionamento e orientação do robô.

### 3.5.4.3 Premissas

- O sistema de Aquisição deve estar funcionando corretamente até o Nível 2 de criticidade dos sensores.
- A câmera térmica deve estar calibrada e posicionada com ângulo de visão para as linhas de transmissão e seus obstáculos
- O sonar deve estar posicionado de forma a monitorar objetos abaixo da linha de transmissão.

### 3.5.4.4 Descrição da Funcionalidade

A detecção é a funcionalidade responsável por identificar a presença de pontos quentes na linha de transmissão bem como de objetos na faixa de servidão. Ao identificar um destes elementos, o sistema solicita da funcionalidade de Localização os dados posicionamento e orientação do robô e envia uma mensagem de alerta.

A mensagem de detecção de um ponto quente informa a localização do robô e a localização do objeto no frame de imagem. Por isso recebe a mensagem de detecção de obstáculos.

A mensagem de detecção de objetos na faixa de servidão informa a distância da cota da linha até o objeto e a localização do mesmo.

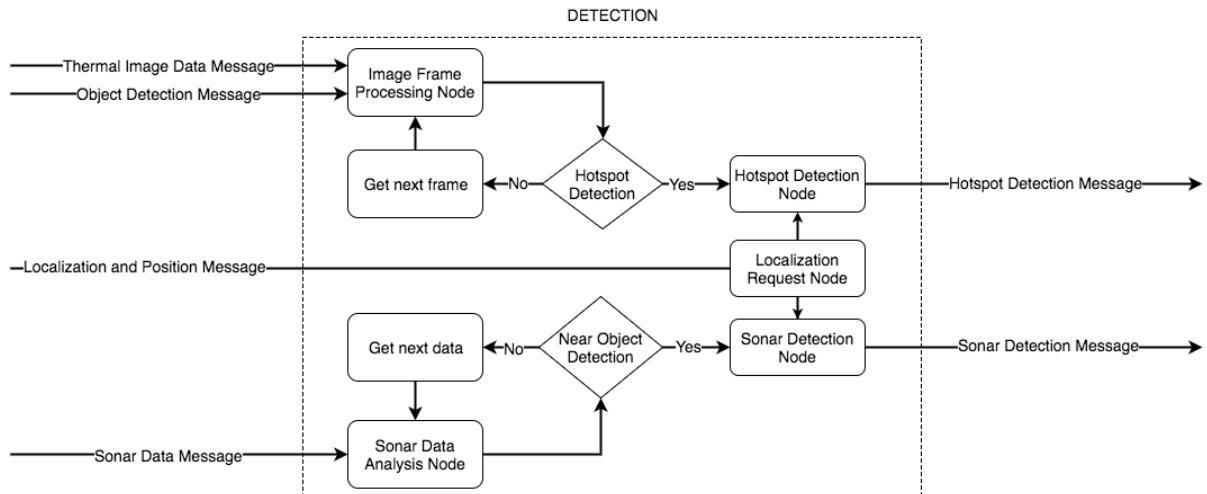


Figura 3.9: Fluxograma da Funcionalidade Detecção

### 3.5.4.5 Saídas

- **Hotspot Detection Message:** Mensagem que informa a detecção de um ponto quente e informa a sua localização na imagem e localização do robô na linha.
- **Sonar Detection Message:** Mensagem que informa a detecção de objetos na faixa de servidão e sua localização na linha.

### 3.6 Interface do Usuário

A interface do usuário é uma forma de expor graficamente as variáveis mais importantes do sistema robótico e quais atividades estão sendo executadas. Ela permite dar previsibilidade ao usuário do comportamento do sistema.

No ELIR a interface do usuário tem o papel de informar cinco características principais:

- System Integrity
- Robot Status
- Thermal view
- Occurrences
- Actuators Information

No campo de *System Integrity* são exibidos em tempo real as variáveis de grande impacto na eficiência e integridade do sistema. Por isso são informados os dados de temperatura, percentual de carga da bateria, consumo, localização e orientação do robô.

O *Robot Status Display* exibe o posicionamento das garras do robô na linha de transmissão. A coloração vermelha indica as garras foras da linha enquanto que a coloração verde indica as garras apoiadas na linha. Essa informação proveniente dos sensores de proximidade é de extrema importância para integridade física do robô.

O *Thermal View* exibe em tempo real os frames da câmera IR, permitindo o usuário acompanhar a detecção de pontos quentes e visualizar o perfil de temperatura da área exibida.

O campo de *Occurrences* mostra as principais ocorrências daquele momento, mostrando eventos de sobretemperatura, sobrecorrente, detecção de pontos quentes e detecção de objetos na área de servidão. Todos os eventos são mostrados com data, horário e localização GPS.

## Resultados

As funcionalidades do sistema de percepção foram validadas a partir de duas etapas de testes. Os testes unitários buscam a validação do funcionamento individual dos sensores, enquanto os testes integrados validam o funcionamento dos sistemas e funcionalidades, ou seja, todos os componentes em conjunto. A descrição dos testes realizados e dos resultados obtidos por eles está descrita abaixo.

Para mais detalhes sobre as conexões eletro-eletrônicas, pode-se ver o apêndice [C](#).

### 4.1 Testes unitários

#### 4.1.1 Câmera Térmica

A câmera térmica Lepton, do fabricante FLIR, se comunica por VOSPI. Logo, foi necessário utilizar um driver para converter os dados da câmera e disponibiliza-los para a USB. Uma placa de desenvolvimento Nucleo STM32F401RE com o driver disponibilizado por [Gyver et al. \(2017\)](#) foi utilizada para essa situação.

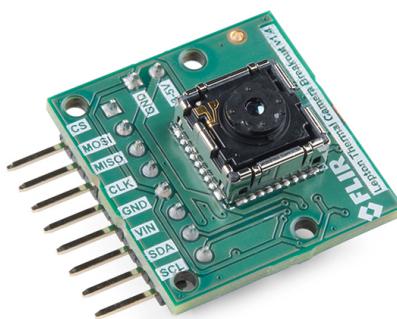


Figura 4.1: Lepton LWIR

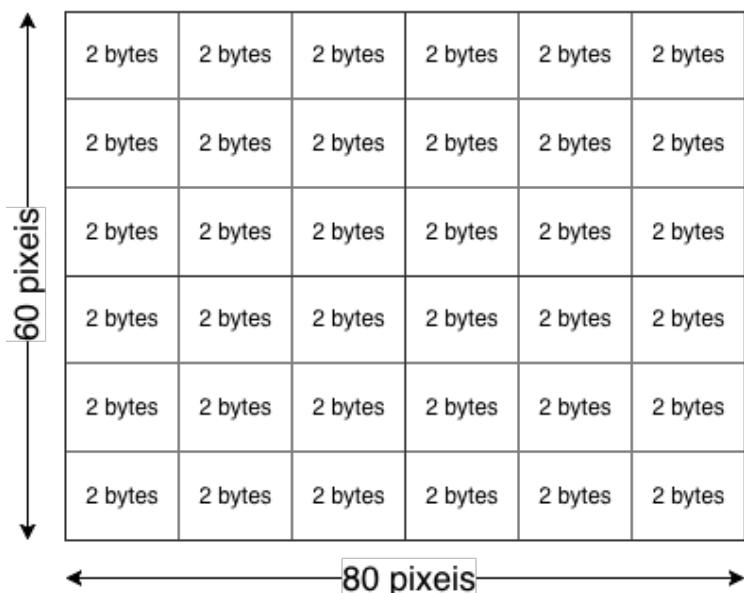
O driver coleta os frames e verifica se o mesmo foi adquirido corretamente, após isso, envia para a USB seguindo o seguinte padrão de mensagem:

No início de cada mensagem, há uma sequência de quatro *bytes* para confirmar a transferência dos dados. Após a confirmação por um *script* em python, inicia-se o processo



Figura 4.2: Mensagem do frame da câmera

de aquisição do *frame*. Cada *frame* é composto por 4800 *pixels*, sendo 80 na horizontal e 60 na vertical. Além disso, cada *pixel* possui 2 *bytes* de profundidade de cor, correspondendo a 9600 *bytes* de informação para cada *frame*. Na Figura 4.3, pode-se observar uma representação do *frame* da câmera.

Figura 4.3: Esquemático do *Frame* da Câmera Térmica

No *script* de aquisição de *frames*, cada *pixel*, foi convertido para uma escala de cinza de 8-bits (1 *byte*). Conversão necessária para trabalhar com a biblioteca de processamento de imagens OpenCV.

Após isso a imagem foi reconstruída para verificar a integridade dos *frames*.

#### 4.1.2 Sonar EZ-1

O sonar EZ-1 da MaxBotix possui saída analógica referente a distância medida. Para testá-lo, foi utilizada uma das entradas analógicas da Phidgets.



Figura 4.4: Sonar EZ-1

A comunicação da Phidgets com a NUC é feita via USB, contudo, é necessário a instalação dos drivers obrigatórios da placa no linux. Além disso, é necessário a instalação do módulo python respectivo da placa, dessa forma, permitindo a utilização de classes e métodos para controle da comunicação com os sensores.

Com os respectivos drivers e módulos da phidgets instalados no computador, foi necessário apenas conectar os terminais alimentação e saída analógica do sensor nos conectores correspondentes da Phidgets e executar um *script* de leitura da tensão nas entradas analógicas fornecido pela própria fabricante.

Ao executar o código, recebe-se, no intervalo de dez segundos, todas as leituras de tensão efetuadas no sensor. Notamos que ao afastar o obstáculo do sonar o valor de tensão aumentava e quando aproximavamo o obstáculo o valor de tensão diminuía. Após feita a conversão de tensão para unidades métricas através das informações disponibilizadas no *datasheet*, foi possível validar o sensor.

#### 4.1.3 Sensor de Proximidade

O sensor de proximidade E18-D80NK funciona de maneira bastante simples. O módulo possui um emissor e um receptor de feixes infra-vermelhos, o qual identifica se há ou não um objeto próximo devido a reflexão, liberando assim, um sinal de nível alto caso positivo e nível baixo caso negativo.

Por questão de sinalização, o fabricante adicionou um LED, que ao identificar algum objeto próximo, acende-se. Com isso, logo após alimentar o sensor já era possível ver o



Figura 4.5: Sensor de proximidade E18-D80NK

seu funcionamento. Entretanto, ainda era necessário verificar se a saída digital referente a detecção estava em devido funcionamento.

Para isso, foi utilizada a placa de interfaceamento Phidgets assim como no tópico anterior. O que diferiu nesse teste para o anterior é que o sensor foi acoplado em uma entrada digital, em vez de uma analógica, assim como o *script* executado foi para comunicação com as entradas digitais. O código, também disponibilizado pela fabricante, notifica a mudança de estado da saída dos sensor, dessa maneira podendo ser validada.

#### 4.1.4 Smart Charger

A placa de gerenciamento e carregamento das baterias DS325A, da empresa Inspired Energy, funciona a partir do protocolo de comunicação SMBus. Informações das baterias como temperatura, corrente, carga, entre outras podem ser solicitadas através do seguinte protocolo de leitura.

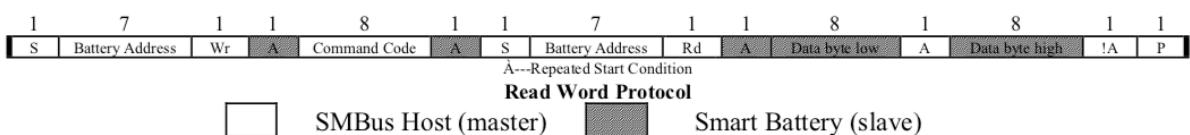


Figura 4.6: Protocolo de comunicação do *Smart Charger* e das baterias

No qual é necessário enviar primeiro o endereço de 7 bits da bateria de interesse, seguido do comando referente a que informação está se requisitando. Após isso, inicia-se o processo de leitura das informações da bateria.

O driver de comunicação foi desenvolvido em uma placa de desenvolvimento Nucleo STM3L432KC para disponibiliza-los na USB do computador. Além disso, um *script* em python foi escrito para requisitar essas informações do microcontrolador.

Os dados foram convertidos para suas respectivas grandezas, dessa maneira, foi possível validar as informações obtidas.

#### 4.1.5 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura LM35 possui uma saída analógica e com comportamento linear entre a tensão de saída e a temperatura medida.

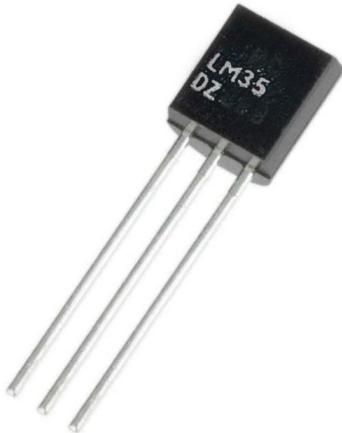


Figura 4.7: Sensor de Temperatura LM35

O componente foi testado em uma das entradas analógicas da Phidgets, e utilizando o mesmo algoritmo de leitura de tensão já mencionado para realizar a obtenção de dados. Para verificar a resposta do sensor, foi medido o valor de tensão de saída para uma sala com ar-condicionado e para um ambiente externo com auxílio de um termômetro de referência.

Os valores de tensão foram convertidos para graus Celsius, através da correlação disponível no *datasheet*, validando assim o sensor.

#### 4.1.6 GPS

O GPS Piksi v2.3.1, da Swift Navigation, possui um console disponibilizado pelo próprio fabricante, porém como se tinha em mãos uma versão antiga do aparelho, foi necessário descobrir qual a versão compatível do *software*.

O console foi instalado, o GPS foi conectado na USB do computador e a antena devidamente acoplada. Essa versão em específico precisa de quatro satélites para realizar os cálculos de coordenadas, e em ambientes fechados, a recepção de sinal é bastante degra-

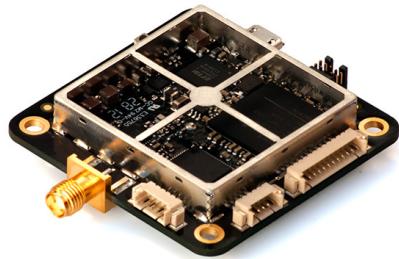


Figura 4.8: GPS Piksi v2.3.1

dada. Para contornar essa situação, o dispositivo foi iniciado em modo de simulação em seu console, mostrando assim, os dados de longitude e latitude.

Posteriormente, a antena foi levada a um ambiente externo e verificou o funcionamento do GPS fora do modo de simulação.

#### 4.1.7 IMU

A IMU Mti-1, fabricado pela Xsens, possui um console que é disponibilizado no próprio pendrive de instalação que vem junto ao sensor.



Figura 4.9: IMU Xsens Mti-1

Com o console instalado, foi apenas necessário conectar a IMU a uma das portas USB do computador. Na própria interface gráfica já aparece as informações de orientação do dispositivo, informando a orientação nos três eixos de referência e velocidade angular.

## 4.2 Integração no ROS

Após os testes unitários de cada sensor, deu-se inicio à integração dos sensores no ambiente ROS para construção do sistema de Percepção. A descrição da metodologia empregada para embarcar cada um dos sensores no framework de robótica está mostrada nos tópicos abaixo.

### 4.2.1 Phidgets

Após a fase de testes unitários, foi necessário desenvolver o *package* de comunicação da phidgets no ROS. Esse *package* é responsável pela aquisição dos dados de todos os sensores analógicos e digitais conectados a Phidgets.

Os nós foram desenvolvidos utilizando como base o módulo *python* da Phidgets. Ele consiste em uma classe e cada objeto desta, representa um componente conectado a placa de interface. Ao declarar o objeto, se faz necessário informar o canal, o nome do dispositivo, o tipo de porta (digital ou analógico) e o nome do tópico a ser disponibilizado os dados.

No construtor da classe os dados referentes aos dispositivos são coletados e um *publisher* do ROS é inicializado. Este *publisher* faz com que periodicamente os dados de tensão(canais analógicos) ou status da porta(canais digitais) sejam coletados e disponibilizados no tópico escolhido pelo usuário.

No script original foram criados seis objetos da classe no *main loop*, correspondentes aos cinco sensores de proximidade conectados a portas digitais e ao sonar conectado na porta analógica.

### 4.2.2 Smart Charger

O script utilizado no teste unitário para receber os dados provenientes do *smart charger* no computador foi utilizado como base para a construção do nó no ambiente ROS.

O nó funciona enviando um *byte* pré-definido para dar início ao processo de transmissão de dados da bateria. A recepção do *byte* pela Nucleo L432KC inicia a leitura dos dados da bateria, como mostrado no tópico anterior. Logo após isso, ocorre o envio das informações em sequência para o computador, como pode ser visto abaixo:

W	R	R	R	R
0x30	2 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes
<b>Fixed Header</b>	<b>Voltage</b>	<b>Temperature</b>	<b>Current</b>	<b>Capacity</b>

Figura 4.10: Mensagem entre a Nucleo L432KC e o nó referente às baterias

No nó do ROS essas informações são recebidas via serial e convertidas para sua devidas unidades segundo o *datasheet* do fabricante. Esses dados são colocados em um formato de mensagem chamado de Battery e publicadas em um tópico do ROS. O nó criado para a *smart charger* está mostrado no anexo XX.

#### 4.2.3 Câmera Térmica

A integração da câmera no ROS foi feita em duas etapas, que na prática foram representadas como dois nós:

- O primeiro com objetivo da aquisição dos dados da câmera e sua disponibilização em um tópico.
- O segundo nó é responsável por todo o tratamento da imagem e detecção dos pontos quentes.

Para a aquisição dos dados, no primeiro nó, foi utilizado basicamente o mesmo algoritmo que no teste unitário, porém com a integração das bibliotecas do ROS para publicar os *frames* em forma de *Numpy arrays* em seus devido tópico.

No segundo nó foi utilizado a biblioteca OpenCV para realizar o processamento da imagem. Primeiramente, o frame disponibilizado pelo nó de aquisição é adquirido subscrevendo do seu respectivo tópico. Para retirar o aspecto ”pixelado” da imagem da câmera, devido a sua baixa resolução (80x60 pixels), foi necessário realizar uma interpolação cúbica para redimensionar a imagem para uma resolução de (400x300 pixels), obtendo assim uma imagem mais detalhada.

Com a imagem já redimensionada, é aplicado um filtro *blur* para eliminar altas frequências que podem interferir na binarização (*thresholding*) que será feita na imagem.

Após o filtro, o frame é binarizado com o objetivo de facilitar a identificação dos pontos quentes através de um algoritmo de busca de contornos.

O esquemático abaixo mostra simplificadamente o processo de tratamento da imagem.

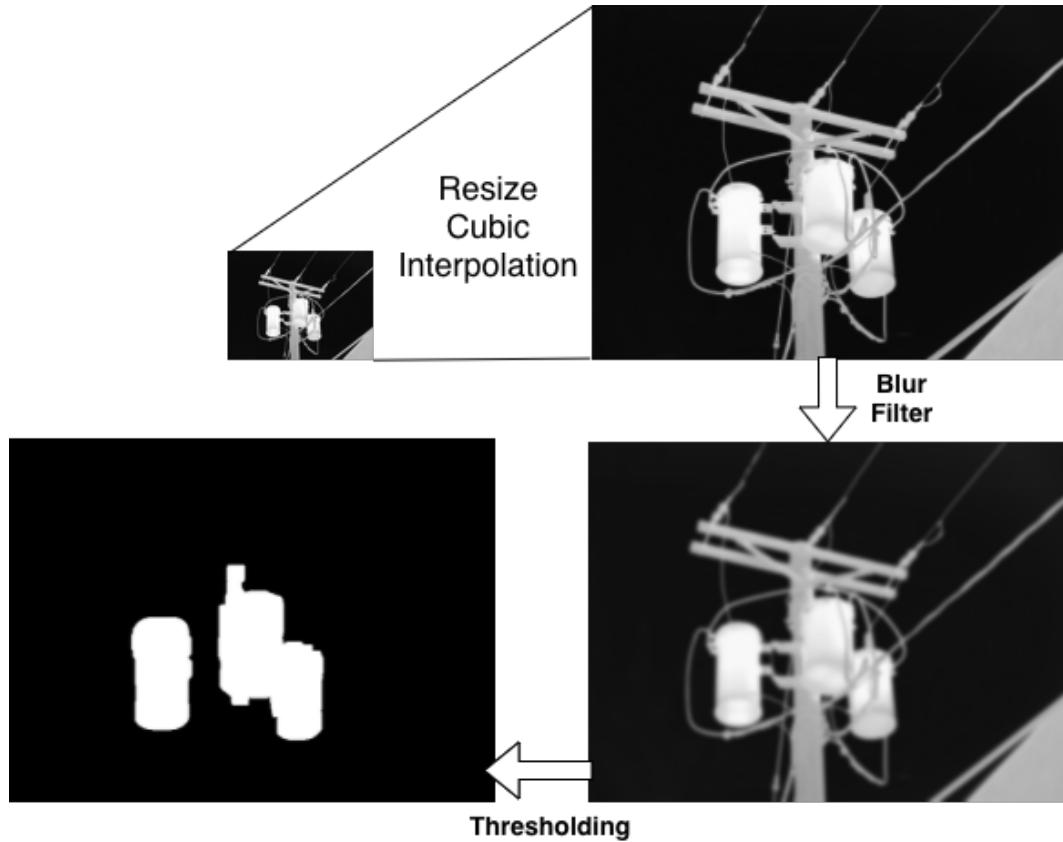


Figura 4.11: Esquemático do processamento da imagem

#### 4.2.4 GPS

Para o GPS, foi utilizado um driver disponibilizado no GitHub por [Tranzatto et al. \(2018\)](#) com licença livre para embarcar o dispositivo no ROS.

O *package* possui nós que publicam em tópicos as informações de coordenadas obtidas do GPS.

#### 4.2.5 IMU

Foi utilizado o driver da IMU disponibilizada pela própria fabricante Xsens para embarcar a IMU no ROS. O driver de licença livre é disponibilizado no GitHub da própria empresa.

### **4.3    *Testes integrados***

asdfadsfsdfs

### **4.4    *Avaliação da prontidão tecnológica***

asdfadsfsdfs

### **4.5    *Trabalhos futuros***

asdfadsfsdfs

---

## Conclusão

---

Chegou a hora de apresentar o apanhado geral sobre o trabalho de pesquisa feito, no qual são sintetizadas uma série de reflexões sobre a metodologia usada, sobre os achados e resultados obtidos, sobre a confirmação ou rechaço da hipótese estabelecida e sobre outros aspectos da pesquisa que são importantes para validar o trabalho. Recomenda-se não citar outros autores, pois a conclusão é do pesquisador. Porém, caso necessário, convém citá-lo(s) nesta parte e não na seção seguinte chamada **Conclusões**.

### **5.1 Considerações finais**

Brevemente comentada no texto acima, nesta seção o pesquisador (i.e. autor principal do trabalho científico) deve apresentar sua opinião com respeito à pesquisa e suas implicações. Descrever os impactos (i.e. tecnológicos, sociais, econômicos, culturais, ambientais, políticos, etc.) que a pesquisa causa. Não se recomenda citar outros autores.

---

Apêndice A

---

---

**QFD**

---

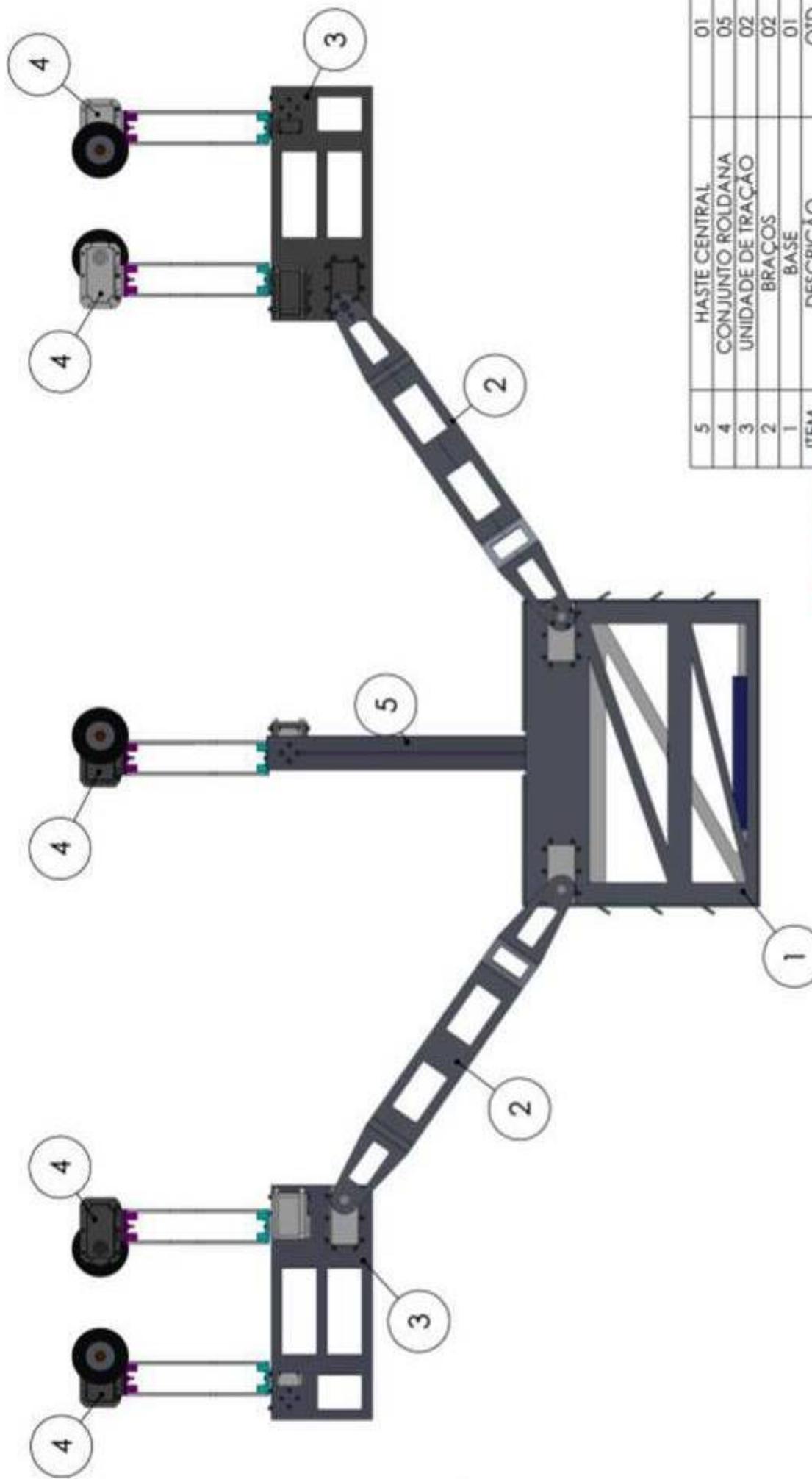
---

## Diagramas mecânicos

---



REV	DESCRIPTION	DEAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017



Pi-Ro 2.1  
VISTA FRONTAL



PI-RO 2.1  
Drawing No.: PI-RO 2.1  
Rev.: 01  
A3  
PROJETO  
Page: 1 of 13

PI-RO 2.1  
Drawing No.: PI-RO 2.1  
Rev.: 01  
A3  
PROJETO  
Page: 1 of 13

ITEM	DESCRICAO	QTD	REF.
5	HASTE CENTRAL	01	
4	CONJUNTO ROLDANA	05	
3	UNIDADE DE TRACAO	02	
2	BRAÇOS	02	
1	BASE	01	

NOTE:  
1. All dimensions are in mm.  
2. Standard drawing type  
3. Sketch drawing

Prepared: \_\_\_\_\_  
07/09/2017

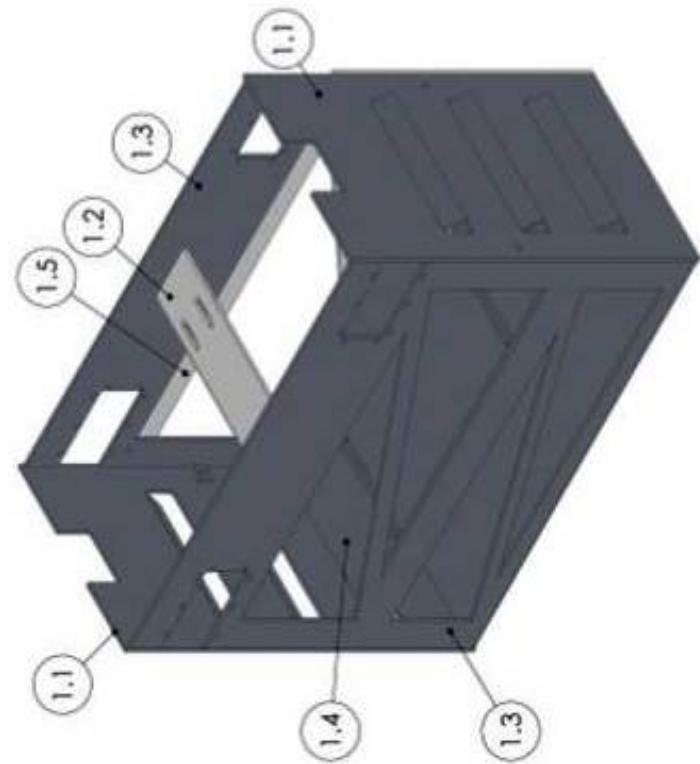
Reviewed: \_\_\_\_\_  
07/09/2017

Approved: \_\_\_\_\_  
07/09/2017

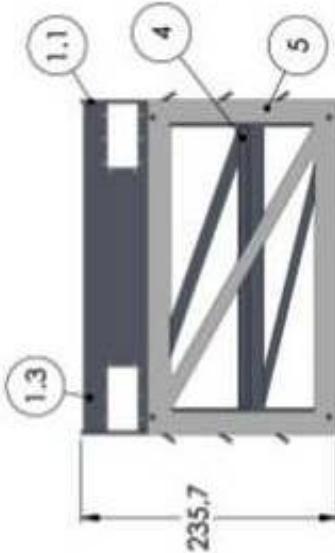
Comments:  
1. All dimensions are in mm.  
2. Standard drawing type  
3. Sketch drawing

Page: 1 of 13

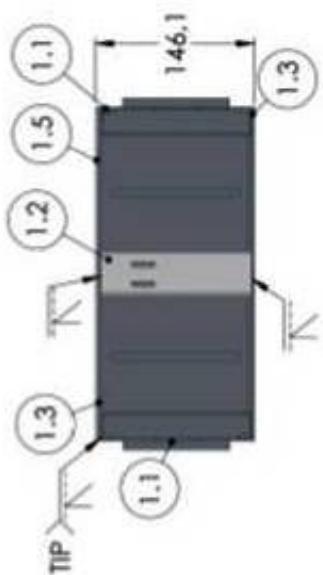
REV 0 DESCRIPTION Drawing 07/09/2017  
Drawing elaboration Juliana Santori



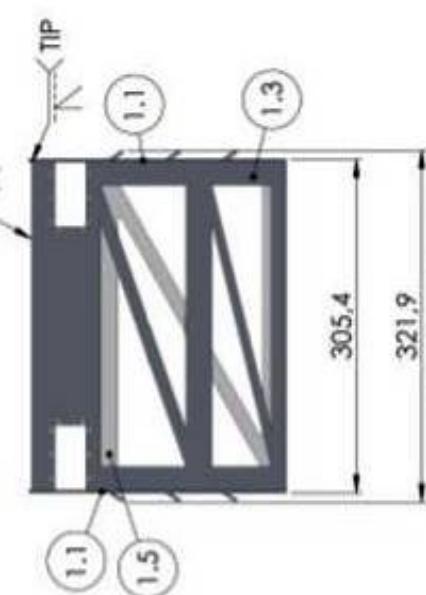
VISTA ISOMÉTRICA



VISTA TRASEIRA



VISTA SUPERIOR



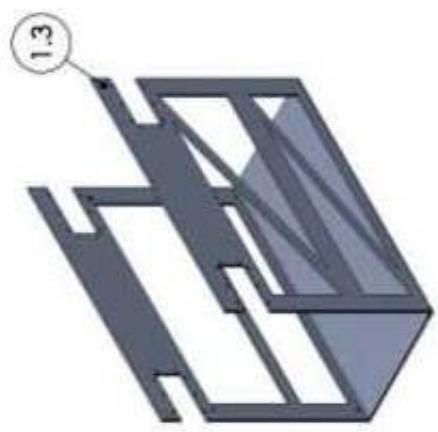
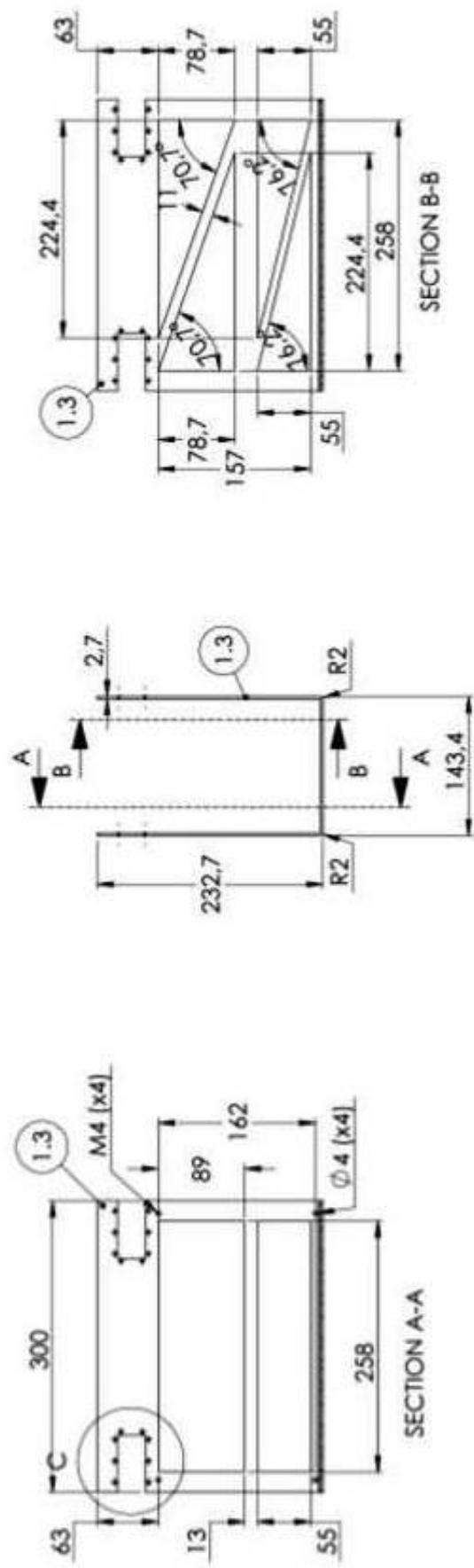
VISTA FRONTAL

ITEM	QTD	DESCRICAÇÃO	BASE - ITEM 01
1.5	01	CHAPA 05: 305,4 x 175 x 2,7 mm	
1.4	01	CHAPA 04: 148 x 254 x 2,7 mm	
1.3	01	CHAPA 03: 608,8 x 300 x 2,7 mm	
1.2	01	CHAPA 01: 138 x 47 x 2,7 mm	
1.1	02	CHAPA 01: 143,4 x 235,4 x 2,7 mm	
		DESCRICAÇÃO	
		ITEM 01	
		ITEM 02	
		ITEM 03	
		ITEM 04	
		ITEM 05	
		ITEM 06	
		ITEM 07	
		ITEM 08	
		ITEM 09	
		ITEM 10	
		ITEM 11	
		ITEM 12	
		ITEM 13	
		ITEM 14	
		ITEM 15	
		ITEM 16	
		ITEM 17	
		ITEM 18	
		ITEM 19	
		ITEM 20	
		ITEM 21	
		ITEM 22	
		ITEM 23	
		ITEM 24	
		ITEM 25	
		ITEM 26	
		ITEM 27	
		ITEM 28	
		ITEM 29	
		ITEM 30	
		ITEM 31	
		ITEM 32	
		ITEM 33	
		ITEM 34	
		ITEM 35	
		ITEM 36	
		ITEM 37	
		ITEM 38	
		ITEM 39	
		ITEM 40	
		ITEM 41	
		ITEM 42	
		ITEM 43	
		ITEM 44	
		ITEM 45	
		ITEM 46	
		ITEM 47	
		ITEM 48	
		ITEM 49	
		ITEM 50	
		ITEM 51	
		ITEM 52	
		ITEM 53	
		ITEM 54	
		ITEM 55	
		ITEM 56	
		ITEM 57	
		ITEM 58	
		ITEM 59	
		ITEM 60	
		ITEM 61	
		ITEM 62	
		ITEM 63	
		ITEM 64	
		ITEM 65	
		ITEM 66	
		ITEM 67	
		ITEM 68	
		ITEM 69	
		ITEM 70	
		ITEM 71	
		ITEM 72	
		ITEM 73	
		ITEM 74	
		ITEM 75	
		ITEM 76	
		ITEM 77	
		ITEM 78	
		ITEM 79	
		ITEM 80	
		ITEM 81	
		ITEM 82	
		ITEM 83	
		ITEM 84	
		ITEM 85	
		ITEM 86	
		ITEM 87	
		ITEM 88	
		ITEM 89	
		ITEM 90	
		ITEM 91	
		ITEM 92	
		ITEM 93	
		ITEM 94	
		ITEM 95	
		ITEM 96	
		ITEM 97	
		ITEM 98	
		ITEM 99	
		ITEM 100	
		ITEM 101	
		ITEM 102	
		ITEM 103	
		ITEM 104	
		ITEM 105	
		ITEM 106	
		ITEM 107	
		ITEM 108	
		ITEM 109	
		ITEM 110	
		ITEM 111	
		ITEM 112	
		ITEM 113	
		ITEM 114	
		ITEM 115	
		ITEM 116	
		ITEM 117	
		ITEM 118	
		ITEM 119	
		ITEM 120	
		ITEM 121	
		ITEM 122	
		ITEM 123	
		ITEM 124	
		ITEM 125	
		ITEM 126	
		ITEM 127	
		ITEM 128	
		ITEM 129	
		ITEM 130	
		ITEM 131	
		ITEM 132	
		ITEM 133	
		ITEM 134	
		ITEM 135	
		ITEM 136	
		ITEM 137	
		ITEM 138	
		ITEM 139	
		ITEM 140	
		ITEM 141	
		ITEM 142	
		ITEM 143	
		ITEM 144	
		ITEM 145	
		ITEM 146	
		ITEM 147	
		ITEM 148	
		ITEM 149	
		ITEM 150	
		ITEM 151	
		ITEM 152	
		ITEM 153	
		ITEM 154	
		ITEM 155	
		ITEM 156	
		ITEM 157	
		ITEM 158	
		ITEM 159	
		ITEM 160	
		ITEM 161	
		ITEM 162	
		ITEM 163	
		ITEM 164	
		ITEM 165	
		ITEM 166	
		ITEM 167	
		ITEM 168	
		ITEM 169	
		ITEM 170	
		ITEM 171	
		ITEM 172	
		ITEM 173	
		ITEM 174	
		ITEM 175	
		ITEM 176	
		ITEM 177	
		ITEM 178	
		ITEM 179	
		ITEM 180	
		ITEM 181	
		ITEM 182	
		ITEM 183	
		ITEM 184	
		ITEM 185	
		ITEM 186	
		ITEM 187	
		ITEM 188	
		ITEM 189	
		ITEM 190	
		ITEM 191	
		ITEM 192	
		ITEM 193	
		ITEM 194	
		ITEM 195	
		ITEM 196	
		ITEM 197	
		ITEM 198	
		ITEM 199	
		ITEM 200	
		ITEM 201	
		ITEM 202	
		ITEM 203	
		ITEM 204	
		ITEM 205	
		ITEM 206	
		ITEM 207	
		ITEM 208	
		ITEM 209	
		ITEM 210	
		ITEM 211	
		ITEM 212	
		ITEM 213	
		ITEM 214	
		ITEM 215	
		ITEM 216	
		ITEM 217	
		ITEM 218	
		ITEM 219	
		ITEM 220	
		ITEM 221	
		ITEM 222	
		ITEM 223	
		ITEM 224	
		ITEM 225	
		ITEM 226	
		ITEM 227	
		ITEM 228	
		ITEM 229	
		ITEM 230	
		ITEM 231	
		ITEM 232	
		ITEM 233	
		ITEM 234	
		ITEM 235	
		ITEM 236	
		ITEM 237	
		ITEM 238	
		ITEM 239	
		ITEM 240	
		ITEM 241	
		ITEM 242	
		ITEM 243	
		ITEM 244	
		ITEM 245	
		ITEM 246	
		ITEM 247	
		ITEM 248	
		ITEM 249	
		ITEM 250	
		ITEM 251	
		ITEM 252	
		ITEM 253	
		ITEM 254	
		ITEM 255	
		ITEM 256	
		ITEM 257	
		ITEM 258	
		ITEM 259	
		ITEM 260	
		ITEM 261	
		ITEM 262	
		ITEM 263	
		ITEM 264	
		ITEM 265	
		ITEM 266	
		ITEM 267	
		ITEM 268	
		ITEM 269	
		ITEM 270	
		ITEM 271	
		ITEM 272	
		ITEM 273	
		ITEM 274	
		ITEM 275	
		ITEM 276	
		ITEM 277	
		ITEM 278	
		ITEM 279	
		ITEM 280	
		ITEM 281	
		ITEM 282	
		ITEM 283	
		ITEM 284	
		ITEM 285	
		ITEM 286	
		ITEM 287	
		ITEM 288	
		ITEM 289	
		ITEM 290	
		ITEM 291	
		ITEM 292	
		ITEM 293	
		ITEM 294	
		ITEM 295	
		ITEM 296	
		ITEM 297	
		ITEM 298	
		ITEM 299	
		ITEM 300	
		ITEM 301	
		ITEM 302	
		ITEM 303	
		ITEM 304	
		ITEM 305	
		ITEM 306	
		ITEM 307	
		ITEM 308	
		ITEM 309	
		ITEM 310	
		ITEM 311	
		ITEM 312	
		ITEM 313	
		ITEM 314	
		ITEM 315	
		ITEM 316	
		ITEM 317	
		ITEM 318	
		ITEM 319	
		ITEM 320	
		ITEM 321	
		ITEM 322	
		ITEM 323	
		ITEM 324	
		ITEM 325	
		ITEM 326	
		ITEM 327	
		ITEM 328	
		ITEM 329	
		ITEM 330	
		ITEM 331	
		ITEM 332	
		ITEM 333	
		ITEM 334	
		ITEM 335	
		ITEM 336	
		ITEM 337	
		ITEM 338	
		ITEM 339	
		ITEM 340	
		ITEM 341	
		ITEM 342	
		ITEM 343	
		ITEM 344	
		ITEM 345	
		ITEM 346	
		ITEM 347	
		ITEM 348	
		ITEM 349	
		ITEM 350	
		ITEM 351	
		ITEM 352	
		ITEM 353	
		ITEM 354	
		ITEM 355	
		ITEM 356	
		ITEM 357	
		ITEM 358	
		ITEM 359	
		ITEM 360	
		ITEM 361	
		ITEM 362	
		ITEM 363	
		ITEM 364	
		ITEM 365	
		ITEM 366	
		ITEM 367	
		ITEM 368	
		ITEM 369	
		ITEM 370	
		ITEM 371	
		ITEM 372	
		ITEM 373	
		ITEM 374	
		ITEM 375	
		ITEM 376	
		ITEM 377	
		ITEM 378	
		ITEM 379	
		ITEM 380	
		ITEM 381	
		ITEM 382	
		ITEM 383	
		ITEM 384	
		ITEM 385	
		ITEM 386	
		ITEM 387	
		ITEM	



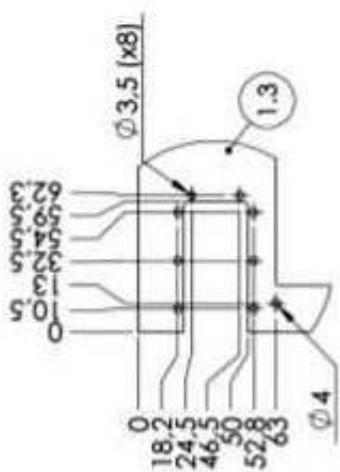
F  
E  
D  
C  
B  
A

REV  
0  
DESCRIPTION  
Drawing elaboration  
Juliano Santori 07/09/2017  
DATE



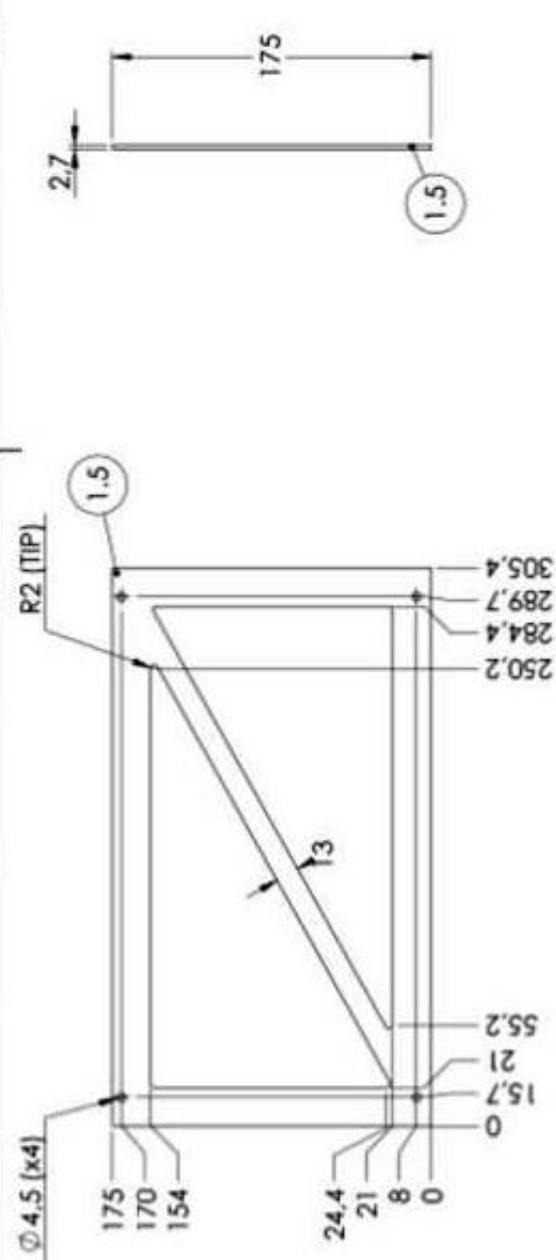
ITEM	1.3	Chapa 608.8 x 300 x 2.7mm	Alumínio
DESCRICAÇÃO			MATERIAL
Base	1.3		1.5
Projeto	PI-Ro 2.1		01
Nome	Juliana Santori		A3
Apelido:	Marco Reis		N/A
Data:	07/09/2017		4713

**SENAI FIEB**  
Instituto de Ensino e Pesquisa SENAI  
**3R Robotics**  
Instituto de Inovação e Desenvolvimento  
Tecnológico  
Tecnologia  
Inovação  
+55 11 2101-1010  
< 1000  
Nome:  
1. Até 1000 caracteres (não  
é permitido o uso de acentos  
e símbolos especiais)  
2. Somente letras maiúsculas  
3. Caractere suave

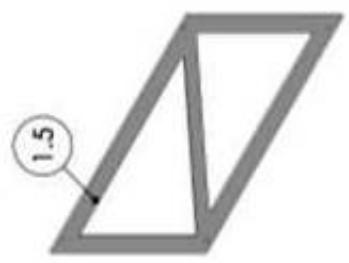


DETALHE C  
ESCALA 2:5  
FURAÇÃO TÍPICA PARA ENCAIXE  
DO MOTOR MX-106T

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing description	Home School	07/09/2017



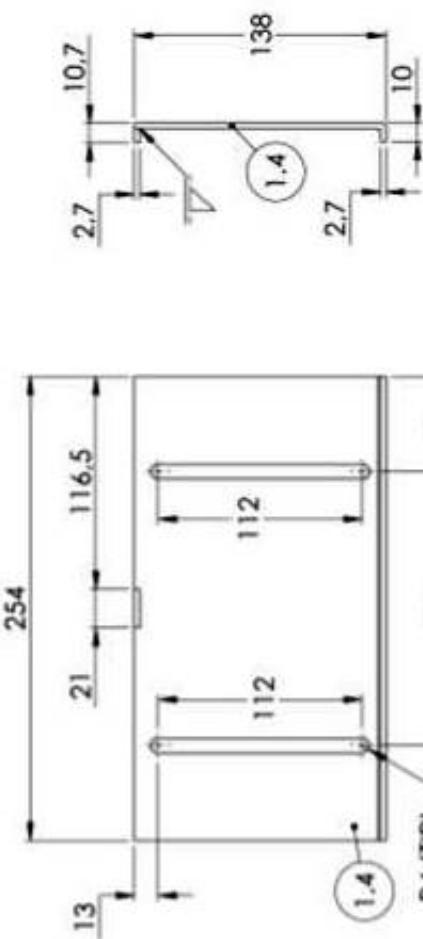
VISTA LATERAL VIETA FRONTERA



5



14

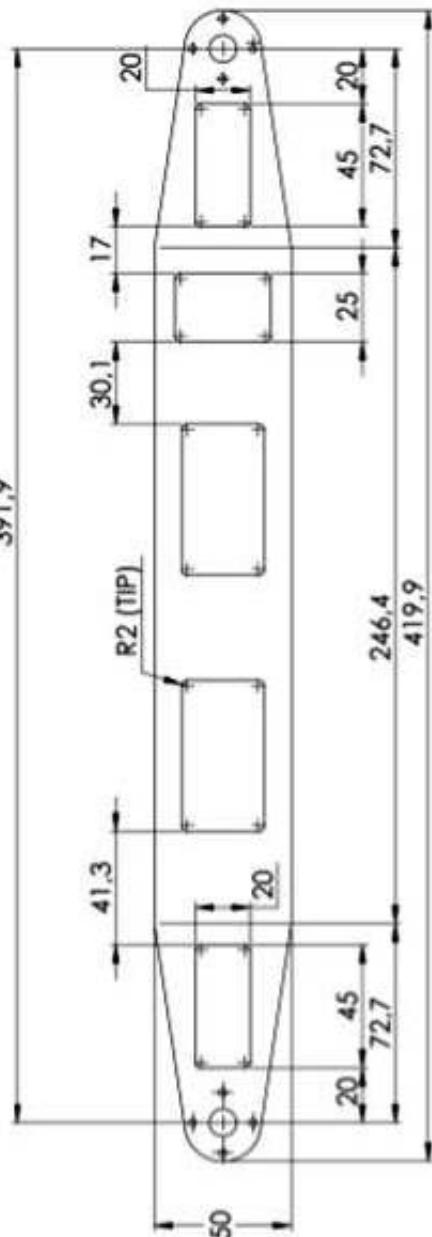


VISTA LATERAL

VISTA AERONAUTICA

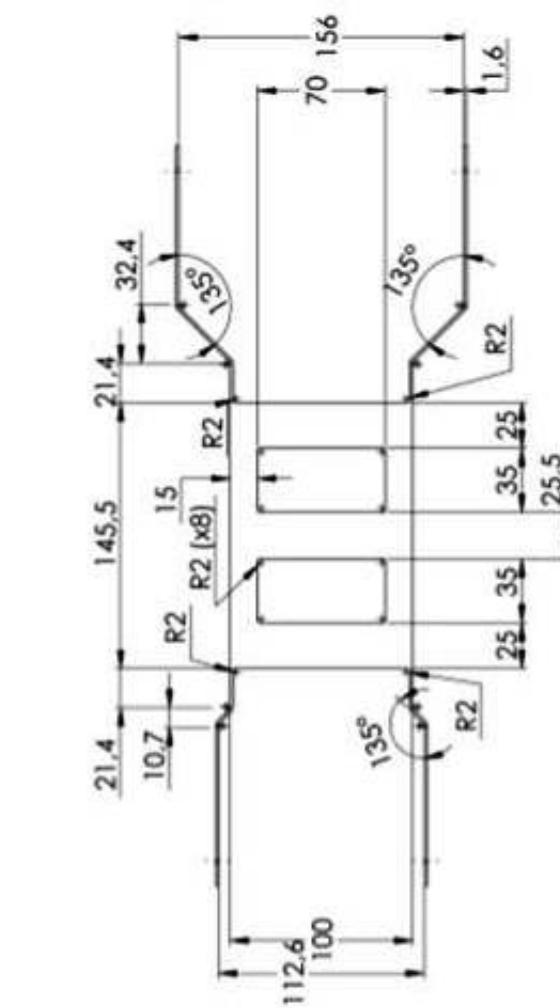
REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlianio Santori	07/11/2016
A	Modificação de dimensões	Júlianio Santori	07/09/2017

391,9

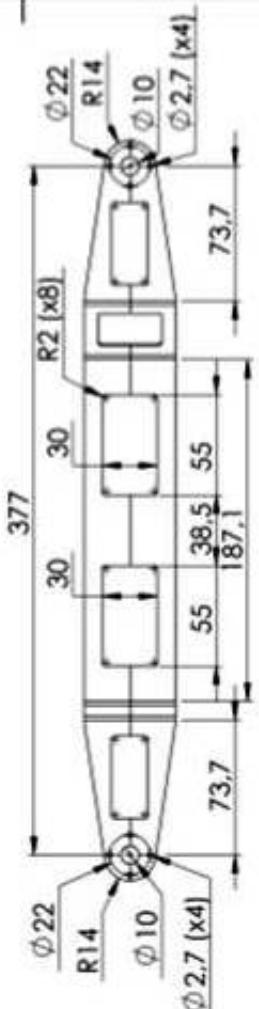


VISTA ISOMÉTRICA

VISTA ISOMÉTRICA



VISTA SUPERIOR



NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 3,0mm.  
 NOTA 02: AS DIMENSÕES DE ABERTURA (156mm e 112,6mm) DEVEM SER MANTIDAS APÓS A REALIZAÇÃO DAS DOBRAS DO PERFIL.

Base File: BRAÇO- ITEM 02  
 Project: PI-Ro 2.1  
 Drawn: Júlianio Santori  
 Appv: Marco Reis  
 Date: 07/09/2017

VISTA FRONTAL

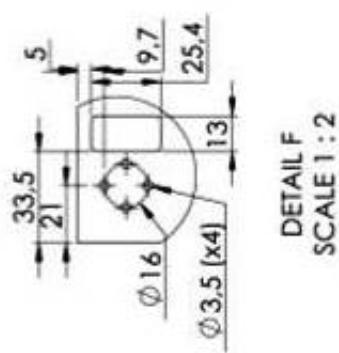
**FIEB**  
 Faculdade de Engenharia de São Paulo  
**BIR** Brazilian Institute of  
 Robotics

Sheet 1 of 1  
 Drawing Number: PI-Ro 2.1  
 Revision: 02  
 Author: Júlianio Santori  
 Approver: Marco Reis  
 Date: 07/09/2017  
 Remarks:  
 1. Asa é realizada com dobragem  
 2. Asa é realizada com dobragem  
 3. Dobrar dobrando  
 Material: 0  
 Scale: 1:1  
 Drawing Date: 07/09/2017  
 Last Update: 07/09/2017  
 Last User: Júlianio Santori  
 Last Computer: Júlianio Santori  
 Last Network: Júlianio Santori  
 Last IP: 64.13

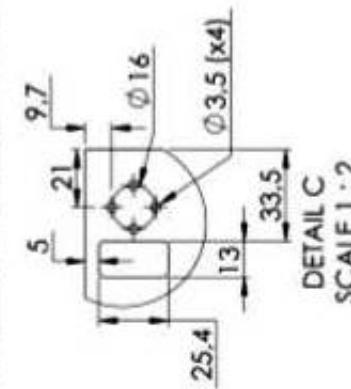
REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Júlio Soárez	07/11/2019
A	Modificação da dimensão	Júlio Soárez	18/11/2019



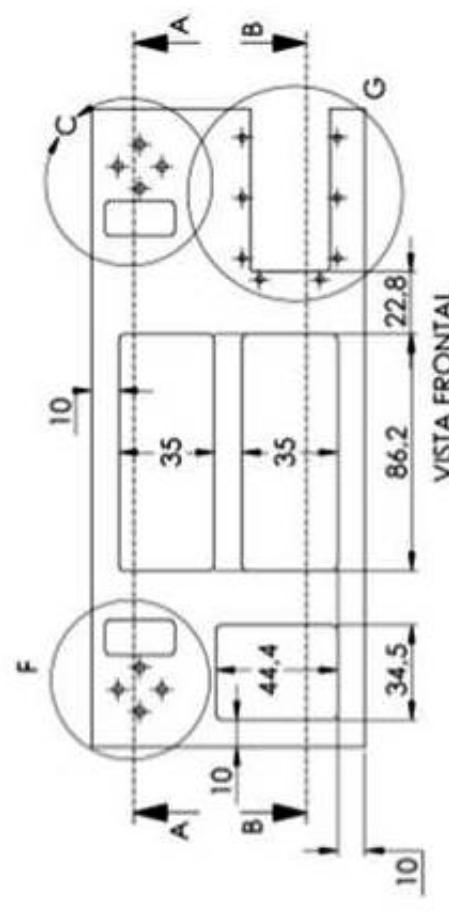
SECTION A-A



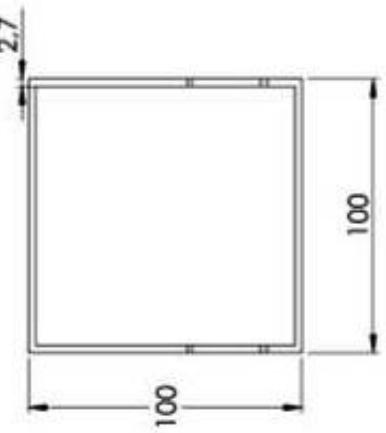
DETAIL F  
SCALE 1 : 2



DETAIL C  
SCALE 1:2



VISTA FRONTAL



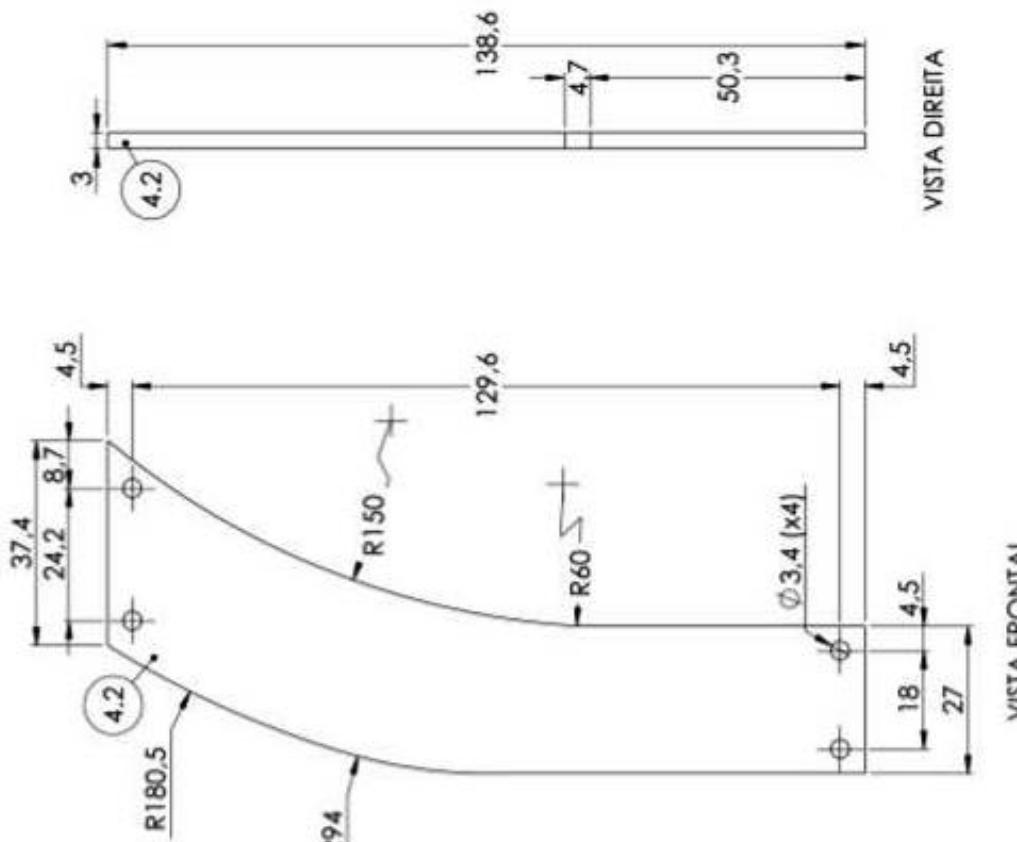
VISTA DIREITA



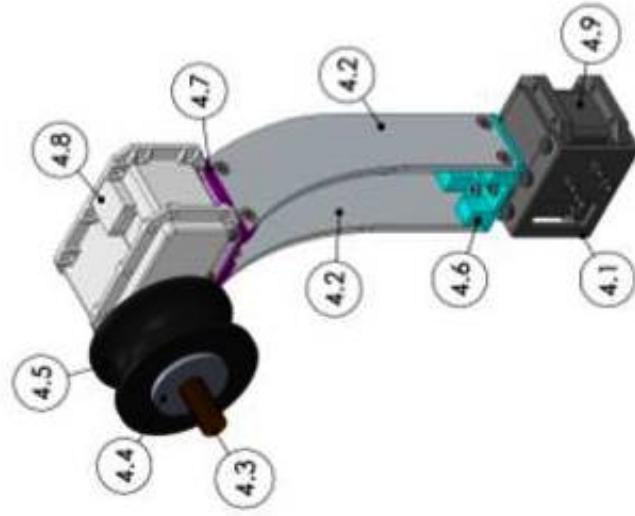
### VISTA ISOMÉTRICA

**NOTA 01: CONSIDERAR QUE FILETES NÃO ESPECIFICADOS TÊM RAIO IGUAL A 2mm.**

	Sociedade Brasileira de Engenharia e Pesquisa	Sociedade Brasileira de Engenharia e Pesquisa	UNIDADE DE TRAÇÃO - ITEM 03		1:2 02	Base:
			Project:	PI-Ro 2.1		
	Tecnologia	Owner:	Juliana Santori	Material:	Alumínio	Finishing:
			Marco Reis	Thickness:		
Notes:	1. As especificações em cima 2. As dimensões apresentadas 3. Desenvolvida					N/A
	0.0000- 0.0000- 4.00- ≤ 10.3	Author:	Date:	Page:		
Revisor:		07/07/2011	7	7/13		
0						



VISTA ISOMÉTRICA



ITEM	DESCRICAÇÃO	QTD	MATERIAL
4.9	Motor MX-28	05	-
4.8	Motor MX-106T-31	05	-
4.7	Garra- Chapa IV	05	Alumínio
4.6	Garra- Chapa III	05	Alumínio
4.5	Roldana externa	05	Borracha
4.4	Roldana interna	05	Alumínio
4.3	Eixo Roldana	05	Alumínio
4.2	Garra- Chapa I	10	Alumínio
4.1	Suporte garra	05	Alumínio



Notes:  
 1. All dimensions in mm  
 Unidades de medida em milímetros  
 2. Dimensional tolerance  
 Tolerância dimensional  
 3. Central dimensioning  
 Dimensionamento centralizado  
 Revision:  
 0  
 Drawing:  
 07/09/2017  
 Author:  
 Juliana Santori  
 Name:  
 Marco Reis  
 Name:  
 N/A  
 Name:  
 Date:  
 07/09/2017  
 Project:  
 PhRo 2.1  
 Drawing:  
 A3  
 Drawing:  
 B  
 Drawing:  
 C  
 Drawing:  
 D  
 Drawing:  
 E  
 Drawing:  
 F

4

3

2

1

REV

DESCRIPTION

DRAW

DATE

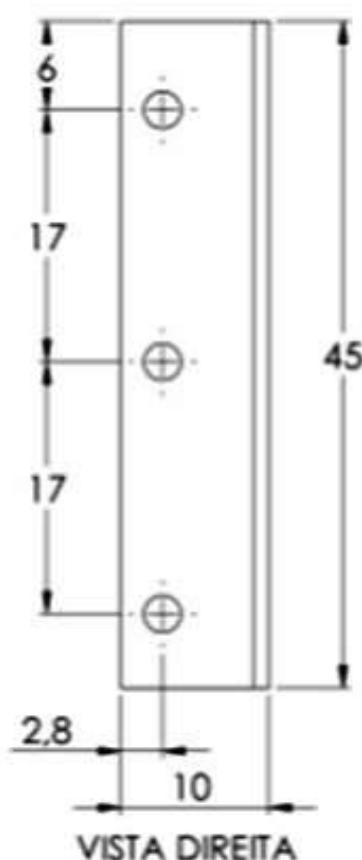
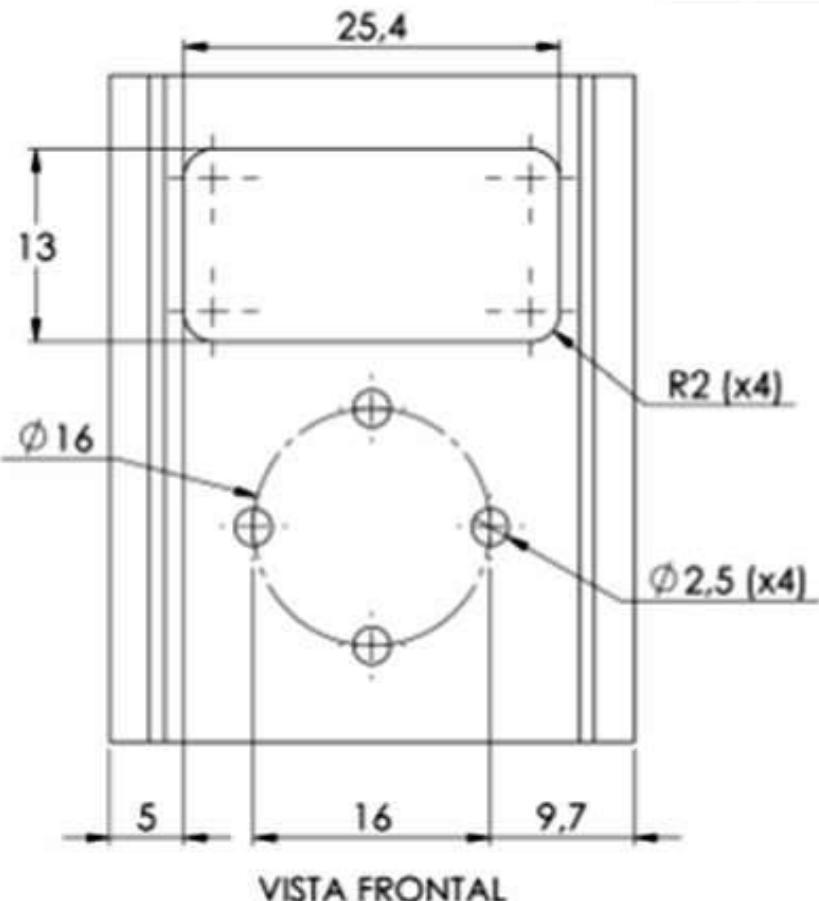
0

Drawing elaboration

Juliana Sartori

07/09/2017

F



E

D

C

B

A

F

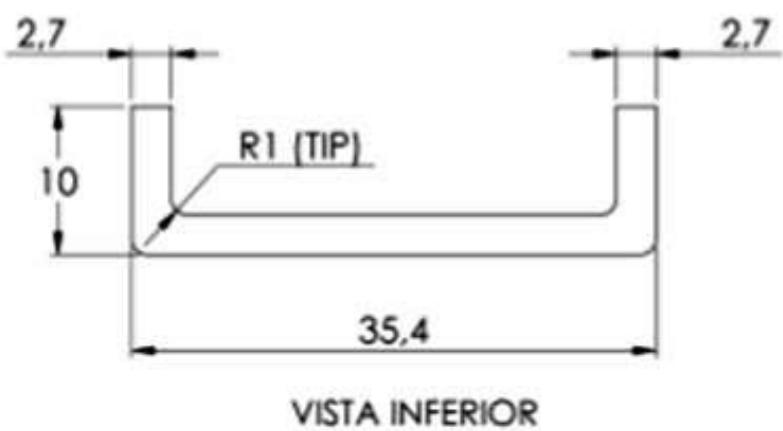
E

D

C

B

A



Isometric View (VISTA ISOMÉTRICA)

Bottom View (VISTA INFERIOR)



Draw Title:

**CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.1**

Scale:

2:1

Quantity:

05

Size:

A4

Project:

PI-Ro 2.1

Finishing:

Order:

Juliana Sartori

Approve:

Marco Reis

Date:

07/09/2017

Material:

Alumínio

ThermalT:

N/A

Page:

9/13

Notes:

- All measurement in mm unless otherwise specified.
- Remove cutting edge.
- Default finishing.

Tolerances:

$\pm 0,001$   
 $\pm 0,001$   
 $\pm 0,1$   
 $\pm 0,2$

Revisão:

0

Signature:



Signature:

Juliana Sartori

Signature:

Marco Reis

Signature:

07/09/2017

Comments:

The information in this document cannot be copied, given away or used for others means except those contained in the contract terms.

4

3

2

1

4

3

2

1

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Juliana Sartori	07/09/2017

F

F

E

E

D

D

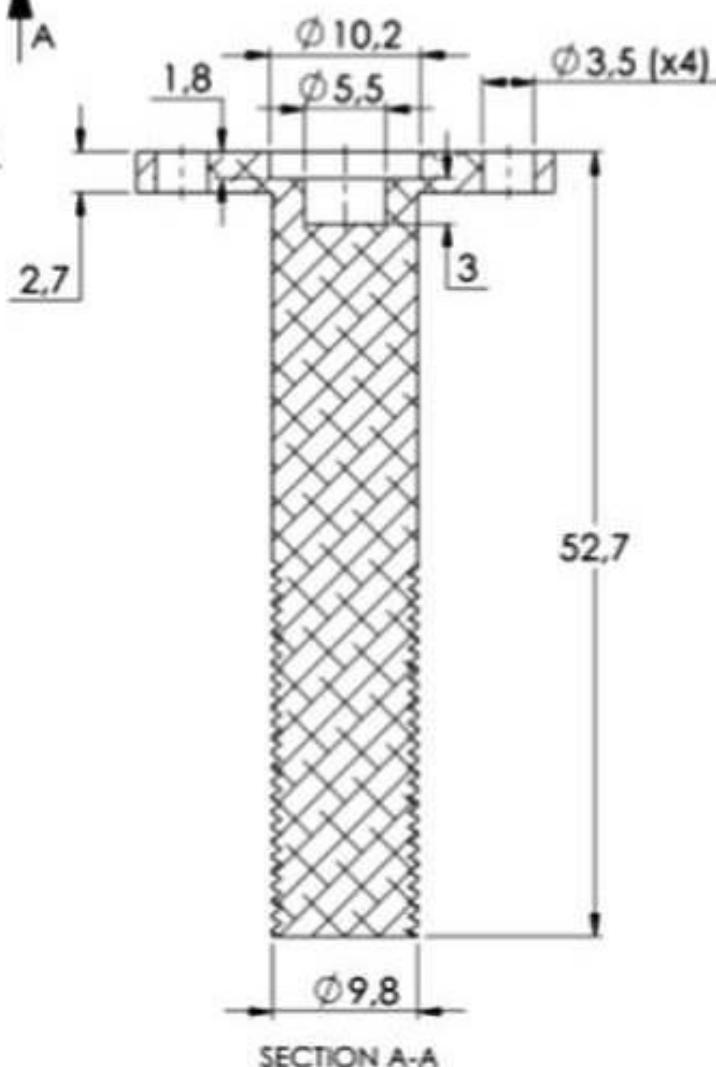
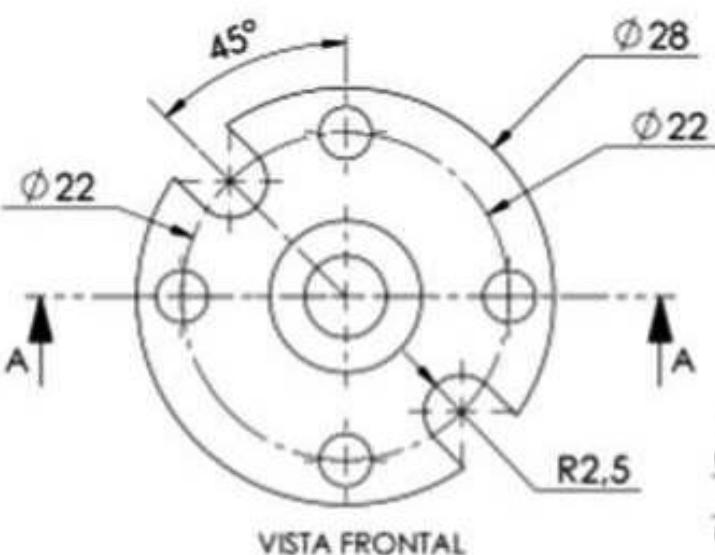
C

C

B

B

VISTA ISOMÉTRICA



**SENAI** **SISTEMA**  
**FIEB**  
Poderoso dos Indústrias do Estado de São Paulo

**BR** Brazilian Institute of  
Robotics

**Notes:**  
1. All measurement in mm  
unless otherwise specified.  
2. Remove cutting edge  
3. Default finishing

**Tolerances:**  
 $\pm 0.02$  (0.01)  
 $\pm 0.01$   
 $\pm 0.1$   
 $\pm 0.2$

**Reviewed:**  
0

**Draw Title:** CONJUNTO ROLDANA ITEM 4.3

**Project:** PI-Ro 2.1

**Draw:** Juliana Sartori

**Material:** Alumínio

**Approved:** Marco Reis

**ThermalT:** N/A

**Scale:** 2:1

**Quantity:** 05

**Size:** A4

**Finishing:**

**Date:** 07/09/2017

**Page:** 10/13

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR USED FOR OTHER MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

4

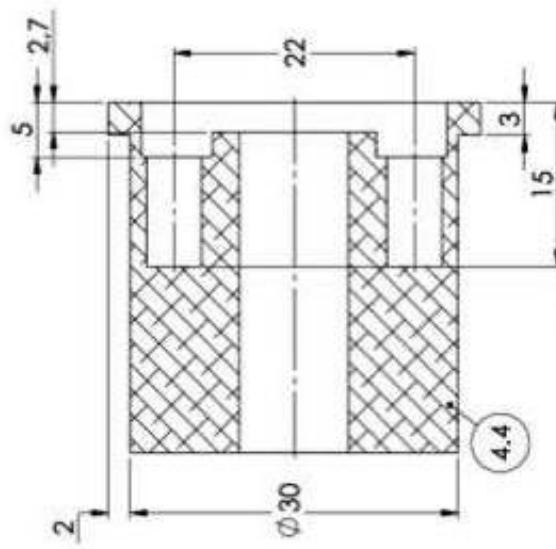
3

2

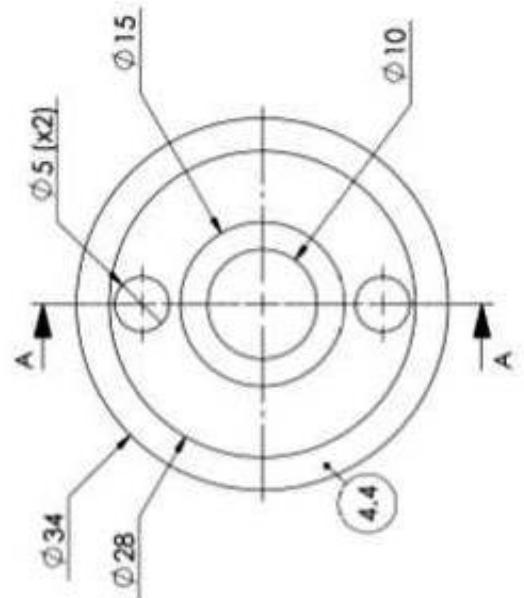
1

A

REV	DESCRIPTION	DRAW	DATE
0	Drawing elaboration	Julianna Santori	07/09/2017



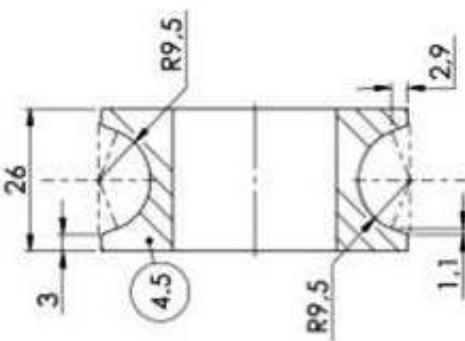
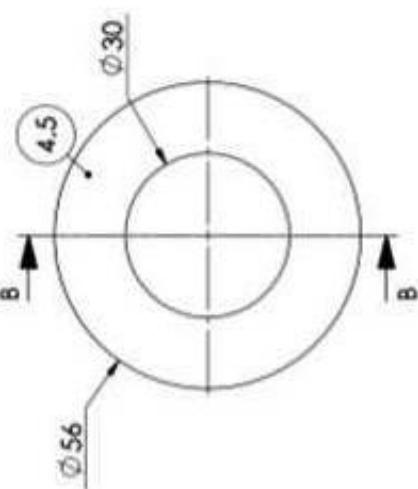
SECCION A-A



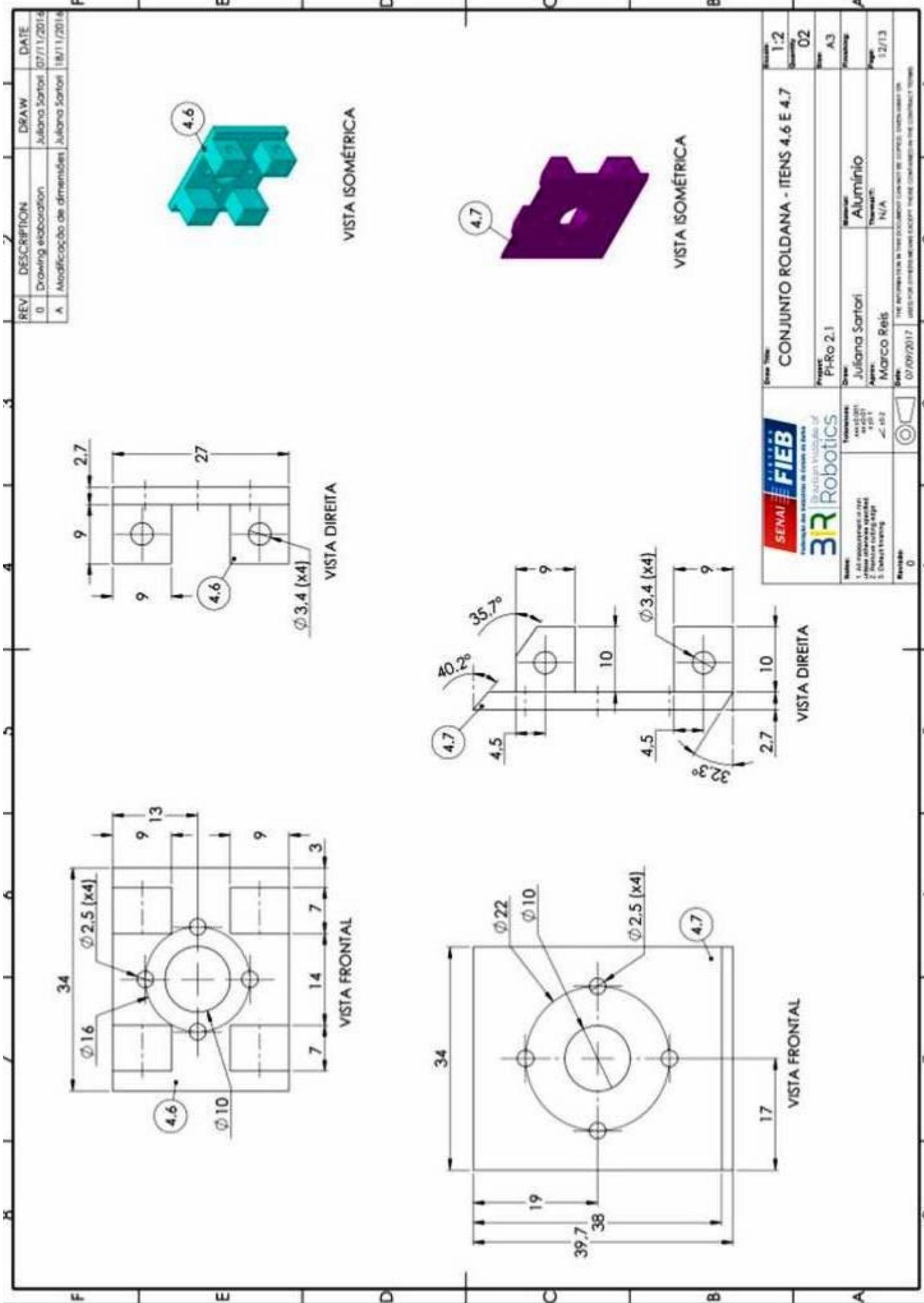
VISTA FRONTAL



VISTA ISOMÉTRICA

SECTION B-B  
ESCALA 1:1VISTA  
FRONTAL  
ESCALA 1:1

<b>SENAI</b> Instituto Nacional de Desenvolvimento <b>FIEB</b> Instituto Mineiro de Desenvolvimento <b>BIR</b> Brazilian Institute of Robotics	Drawn:	CONJUNTO ROLDANA	Rev:	2.1
	Checked:	ITEM 4.4 E 4.5	Date:	05/05/2017
Project:	PhRo 2.1	Material:	Aluminio	Printed:
Name:	Julianna Santori	Author:	N/A	17/13
Date:	07/09/2017	Comments:	The information in this drawing must be updated when the object is produced.	Used to store information about the drawing and its history.



4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

4

3

2

1



**Notes:**  
 1. All measurements in mm unless otherwise specified.  
 2. Remove cutting edges.  
 3. Default finishing.

**Revisor:**  
0

**Tolerances:**  
 $\pm 0.001$   
 $\pm 0.01$   
 $\pm 0.1$   
 $\pm 0.2$



**Draw Title:**

## HASTE CENTRAL - ITEM 5

**Scale:**  
1:2

**Quantity:**  
01

**Size:**  
A4

**Project:**  
PI-Ro 2.1

**Draw:**  
Juliana Sartori  
**Approve:**  
Marco Reis

**Material:**  
Alumínio

**Thermal:**  
N/A

**Finishing:**  
Page:  
13/13

**Date:**  
07/09/2017

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT CANNOT BE COPIED, GIVEN AWAY OR USED FOR OTHER MEANS EXCEPT THOSE CONTAINED IN THE CONTRACT TERMS.

---

## Diagramas eletro-eletrônicos

---

---

## Wireframes

---

---

## Logbook

---

---

## Referências Bibliográficas

---

- BÜHRINGER, M. et al. Cable-crawler–robot for the inspection of high-voltage power lines that can passively roll over mast tops. *Industrial Robot: An International Journal*, Emerald Group Publishing Limited, v. 37, n. 3, p. 256–262, 2010. [2.1](#)
- CAMPOS, M. F. et al. A mobile manipulator for installation and removal of aircraft warning spheres on aerial power transmission lines. In: IEEE. *Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on.* [S.l.], 2002. v. 4, p. 3559–3564. [2.1](#)
- DEBENEST, P. et al. Expliner-robot for inspection of transmission lines. In: IEEE. *Robotics and Automation, 2008. ICRA 2008. IEEE International Conference on.* [S.l.], 2008. p. 3978–3984. [2.1](#), [2.1](#)
- FITZPATRICK, P. *Perception and Perspective in Robotics*. Cambridge, MA, 2003. [2](#)
- GONCALVES, R. S.; CARVALHO, J. C. M. Graphical simulations of a mobile robot suspended on transmission lines using multibody systems software. In: IEEE. *Robotics Symposium and Intelligent Robotic Meeting (LARS), 2010 Latin American.* [S.l.], 2010. p. 1–6. [2.1](#), [2.1](#)
- GONÇALVES, R. S.; CARVALHO, J. C. M. Review and latest trends in mobile robots used on power transmission lines. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 10, n. 12, p. 408, 2013. [2.1](#), [2.1](#), [2.1](#), [2.1](#)
- GONÇALVES, R. S.; CARVALHO, J. C. M.; CARVALHO, M. Kinematics analysis of a four legged robot suspended on wire. In: CITESEER. *ABCM Symposium Series in Mechatronics*. [S.l.], 2006. v. 2, p. 273–280. [2.1](#), [2.1](#)
- GYVER, M. M. et al. *LeptonModule - Nucleo F401RE Driver*. Santa Barbara: [s.n.], 2017. Disponível em: <https://github.com/groupgets/LeptonModule>. [4.1.1](#)
- II, E. J. L. et al. Robô autônomo para inspeção de linhas de alta tensão. [2.1](#), [2.1](#), [2.1](#)
- KATRASNIK, J.; PERNUS, F.; LIKAR, B. A climbing-flying robot for power line inspection. In: *Climbing and Walking Robots*. [S.l.]: InTech, 2010. [2.1](#), [2.1](#)
- LEE, J.-K.; JUNG, N.-J.; CHO, B.-H. Development of transmission line sleeve inspection robot. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, v. 58, n. 58, p. 157–161, 2011. [2.1](#)
- LI, Z.; RUAN, Y. Autonomous inspection robot for power transmission lines maintenance while operating on the overhead ground wires. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 7, n. 4, p. 25, 2010. [2.1](#)
- MICHAELIS. *Percepção*. 2004. URL: <http://michaelis.uol.com.br>. [2](#)
- MONTAMBAULT, S.; POULIOT, N. Design and validation of a mobile robot for power line inspection and maintenance. In: SPRINGER. *6th International Conference on Field and Service Robotics-FSR 2007*. [S.l.], 2007. v. 42. [2.1](#), [2.1](#)

- MOURÃO MIGUEL A. M., L. I. E. J. B. A. Q. G. R. A. B. M. H. S. R. M. A. N. S. M. A. C. V. R. A. P. X. L. H. A. Robô de inspeção de linhas - d311. In: ANEEL. *VII Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, August 17 - 19, 2015.* [S.l.], 2015. [2.1](#), [2.1](#), [2.1](#), [2.2](#)
- ONS. *Dados relevantes do sistema de transmissão 2010 - 2013.* 2018. Disponível em: [http://www.ons.org.br/sites/multimidia/Documentos%20Compartilhados/dados/dados\\_relevantes\\_2010/0206\\_sistema\\_transmissao.html](http://www.ons.org.br/sites/multimidia/Documentos%20Compartilhados/dados/dados_relevantes_2010/0206_sistema_transmissao.html). Acesso em: 24/06/2018. [1](#)
- PAGNANO, A.; HÖPF, M.; TETI, R. A roadmap for automated power line inspection, maintenance and repair. *Procedia CIRP*, Elsevier, v. 12, p. 234–239, 2013. [1.2](#), [2.1](#)
- PHILLIPS, A. et al. Autonomous overhead transmission line inspection robot (ti) development and demonstration. In: IEEE. *Applied Robotics for the Power Industry (CARPI), 2012 2nd International Conference on.* [S.l.], 2012. p. 94–95. [2.1](#)
- RANGEL, R. K.; KIENITZ, K. H.; BRANDÃO, M. P. Sistema de inspeção de linhas de transmissão de energia elétrica utilizando veículos aéreos não-tripulados. In: *3rd CTA-DLR Workshop on Data Analysis & Flight Control* ocorrido entre. [S.l.: s.n.], 2009. p. 14–16. [1](#), [2.1](#)
- SARTORI, J. R. T. D. *Análise cinemática e geométrica de um robô de inspeção de linhas de transmissão de 138kV.* Tese (Doutorado) — Faculdades Senai Cimatec, 2018. [2.2](#), [2.2](#), [2.2](#)
- THORPE, C. et al. *Dependable Perception for Robots.* [S.l.], 2003. [2](#)
- TRANZATTO, M. et al. *ethz piksi ros.* Zurique: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://github.com/ethz-asl>. [4.2.4](#)
- VENTRELLA, A. et al. Robô móvel aplicado à inspeção em linhas de transmissão. In: *Anais do II Congresso de Inovação Tecnológica em Engenharia Elétrica.* [S.l.: s.n.], 2003. v. 1. [2.1](#)
- WANG, L. et al. Design, modeling and control of a biped line-walking robot. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 7, n. 4, p. 33, 2010. [2.1](#), [2.1](#)
- ZHOU, F. et al. Control of an inspection robot for 110kv power transmission lines based on expert system design methods. In: IEEE. *Control Applications, 2005. CCA 2005. Proceedings of 2005 IEEE Conference on.* [S.l.], 2005. p. 1563–1568. [2.1](#), [2.1](#)

*Desenvolvimento do robô de inspeção.*

Luciana  
Felipe

Salvador, Setembro de 2018.